

ISBN : 978-623-93137-7-7



PT Geo Dipa Energi (Persero)



EVALUASI PEMANFAATAN ENERGI Di PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha Tahun 2021



ISTN

Pusat Publikasi Ilmiah Institut Sains dan Teknologi Nasional

EVALUASI PEMANFAATAN ENERGI Di PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha Tahun 2021

Penulis;

Internal:

1. Mulatua Sulaga Dencio
2. Laurentia Mutiara S.W.
3. Herdian Ardi Febrianto
4. Andisyah Purdanto
5. Fajar Dhani Wardhana
6. Wien Pratama Abi Wicaksono
7. Muhamad Taupik Hidayatullah
8. Mochammad Fa'iq Khasmaddin

Eksternal:

1. Muhammad Firdausi
2. Edy Sarwono
3. Edy Yurisman

Penerbit;



ISTN

Pusat Publikasi Ilmiah Institut Sains dan Teknologi Nasional

Evaluasi Pemanfaatan Energi di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha Tahun 2021

ISBN: 978-623-93137-7-7
xxviii + 277 halaman

Penulis:

Internal

1. Mulatua Sulaga Dencio
2. Laurentia Mutiara S.W.
3. Herdian Ardi Febrianto
4. Andisyah Purdanto
5. Fajar Dhani Wardhana
6. Wien Pratama Abi Wicaksono
7. Muhamad Taupik Hidayatullah
8. Mochammad Fa'iq Khasmadin

External

1. Muhammad Firdausi
2. Edy Sarwono
3. Edy Yurisman

Editor:

Muhammad Firdausi

Disain Sampul:

Muhammad Firdausi & Laurentia Mutiara S.W.

Penerbit:

Pusat Publikasi Ilmiah Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Hahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

Cetakan I: Juni 2021

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

Ketentuan pidana pasal 72 UU No. 19 Tahun 2002:

- (1). Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan atau/denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah)
- (2). Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas diterbitkannya buku **Evaluasi Pemanfaatan Energi di PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha Tahun 2021**. Buku ini disusun berdasarkan hasil Laporan Audit Energi dan Review Manajemen Energi di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha tahun 2021. Melalui buku ini disajikan potret tata kelola energi, profil pengguna energi, pola konsumsi energi, dan efisiensi energi yang akan dijadikan tonggak untuk perbaikan berkelanjutan dalam pemanfaatan energi. Hal ini sejalan dengan komitmen dan kebijakan perusahaan yang akan bertanggung jawab dalam menggunakan sumber daya energi melalui pengelolaan penggunaan sumber energi secara efisien.

Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009, tentang Konservasi Energi memuat Kebijakan Konservasi Energi dengan melakukan pengelolaan energi bagi Penyedia Energi, Pengusahaan Energi, Pengguna Energi dan Konservasi Sumber Daya Energi. Kebijakan tentang pengelolaan energi kemudian diatur di dalam Peraturan Menteri ESDM No.14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi. PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha, sebagai salah satu industri penyedia energi listrik (PLTP) wajib mentaati peraturan pemerintah. Merujuk pada latar belakang tersebut, maka PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha memandang perlu dilakukan program konservasi energi pada seluruh fasilitas operasi dengan melaksanakan kegiatan audit energi dan review manajemen energi. Melalui kegiatan ini dapat diketahui peluang penghematan energi yang akan dijadikan dasar program konservasi energi di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha. Selain itu, pelaksanaan audit energi dan review manajemen energi merupakan bagian tak terpisahkan dari program penilaian Proper perusahaan.

Terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penerbitan buku ini. Semoga isi yang tertuang di dalam buku ini dapat dijadikan masukan dan pedoman bagi upaya perbaikan dalam mengelola energi di PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha.

Patuha, Mei 2021

Idham Purnama

General Manager

Ringkasan Eksekutif

Audit energi di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit PLTP Patuha telah dilaksanakan pada akhir bulan Maret 2021, diawali kegiatan kunjungan ke pembangkit selama 5 (lima) hari. Kunjungan di PLTP Patuha dilakukan dalam rangka kegiatan asses (inspeksi), meliputi pengukuran dan pengamatan besaran energi listrik dan energi termal, observasi data peralatan, data historik dan kondisi proses produksi listrik di *power plant*, serta data kondisi penggunaan energi di gedung perkantoran dan fasilitas pendukung lainnya. Kemudian dilanjutkan kegiatan analisis dan evaluasi yang dilakukan selama lebih kurang 30 (tiga puluh hari kalender). Draft laporan disampaikan pada awal bulan Mei 2021 dan selesai dilakukan *review* oleh PLTP Patuha dalam waktu 5 (lima) hari, kemudian dibuat laporan akhir (*final report*).

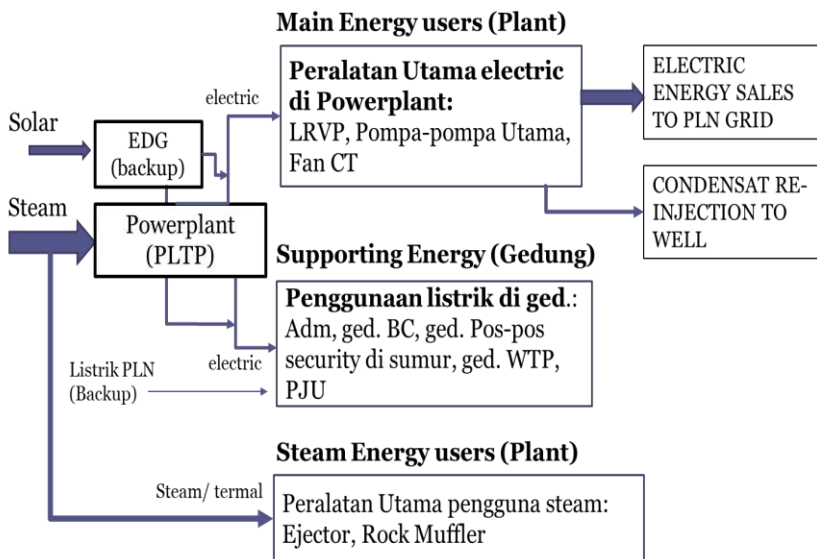
Pembangkit listrik PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit-1 berlokasi di sekitar Gunung Patuha, Ciwidey, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, berjarak sekitar 40 km di sebelah selatan kota Bandung, tepatnya di Desa Sugih Mukti, Kecamatan Pasir Jambu. Pembangkit ini mulai dibangun pada bulan Mei 2012 oleh PT. Geo Dipa Energi dan pada tahun 2014 PLTP Patuha Unit-1 yang berkapasitas 60 MW mulai beroperasi (COD). Daya listrik yang dihasilkan oleh PLTP Patuha Unit-1 ini disalurkan ke sistem jaringan transmisi listrik JAMALI (Jawa-Madura-Bali) PLN.

Dari data historis selama 3 tahun terakhir (2018-2020) diperoleh pola produksi listrik *gross* berfluktuasi sekira 33.000 – 42.000 MWh. Rerata produksi listrik *gross* tiap bulannya selama periode tersebut sekitar 38.973 MWh dengan produksi total rata-rata pertahun sebesar 461.000 MWh.

Konsumsi energi pada pembangkit listrik (PLTP) Patuha dibedakan atas dua jenis, yaitu: energi primer dan energi final. Ada dua jenis energi primer yang dikonsumsi oleh PLTP Patuha, yaitu; *steam* dan *fuel oil*. Sedangkan energi final yang dikonsumsi oleh PLTU sebagai energi untuk pembangkitan adalah energi listrik, baik energi listrik dari *import* (jaringan distribusi PLN) maupun listrik sebagai penggunaan sendiri (*own use*) pada proses pembangkitan. Konsumsi *steam* sebagai energi cenderung berfluktuasi antara 200.000 ton - 269.000 ton, dengan total konsumsi *steam* di PLTP Patuha dalam 1 tahun pada periode 2018-2020

rata-rata adalah sebesar 2.882.329 ton. Sementara itu, penggunaan energi sekunder yaitu energi listrik cenderung berfluktuasi antara 1200 - 2300 MWh per bulannya dengan total konsumsi listrik sebagai sumber energi final (*own used*) di PLTP Patuha dalam 3 tahun terakhir (2018-2020) rata-rata adalah sebesar 24.229 MWh pertahun dengan prosentase rata-rata sebesar 5,26% dari total konsumsi listrik untuk pembangkitan.

Distribusi energi di PLTP Patuha dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian besar yaitu penggunaan energi pada *Generator System (Power Plant)*, peralatan utama di *power plant* (LRVP, Pompa-pompa utama, Fan CT) dan *Supporting/Building System* (Administrasi, gedung BC, gedung Pos-pos keamanan di sumur, gedung WTP, dan PJU). Skema distribusi penggunaan energi di PLTP Patuha Unit-1 diperlihatkan pada Gambar RE.1:



Gambar RE.1. Skema distribusi penggunaan energi di PLTP Patuha Unit-1

Berdasarkan data hasil pengukuran dan pengamatan di panel/DCS saat dilakukan survey audit energi tanggal 22 - 25 Maret 2021, diperoleh klasifikasi peralatan pengguna energi utama - *Significant Energy Uses* (SEUs) sebesar 79,7% dari *auxiliary equipment* di PLTP Patuha. Prosentasi total daya dari peralatan-peralatan di tabel berikut ini mencapai lebih dari 80% total energi yang dikonsumsi di PLTP Patuha, sehingga dapat dikatakan *valid* bahwa peralatan-peralatan tersebut merupakan kategori SEU's.

Daftar peralatan pengguna energy (listrik) di PLTP Patuha Unit-1 yang tergolong kategori SEUs dapat dilihat pada tabel RE.1.

Tabel RE.1. Daftar SEU

CT Fan, 5 unit (MV)	26.2%
HWP, 2 unit (MV)	36.5%
LRVP, 1 unit (MV)	16.9%
ACWP, 1 unit (LV MCC 1)	5.3%
Re-Injeksi Pump, 1 unit (LV MCC1)	1.5%
Air Compressor, 2 unit (LV MCC 1)	1.3%
Total % konsumsi energi =	87.8%

Dari perhitungan Intensitas energi di PLTP Patuha Unit-1 di peroleh nilai intensitas energi berdasarkan konsumsi energi sekunder (*Own Used*), rerata tahun 2018 adalah 0,0586 GJ/GJ, tahun 2019 dan 2020 turun menjadi 0,0535 GJ/GJ dan 0,0543 GJ/GJ. Kecenderungan intensitas energi dari tahun 2018 sampai dengan 2019 mengalami penurunan rata-rata mencapai 8,7%. Kemudian pada 2019 ke 2020 mengalami kenaikan sebesar 1,5%.

Dari hasil perhitungan nilai intensitas energi di PLTP Patuha, jika nilai tersebut di dibandingkan (*benchmark*) sesuai dengan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan Nomor: P.19/PPKL/SET/KUM.1/10/2018 tentang *Benchmarking Sektor Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*, maka nilai intensitas energi di

PLTP Patuha masuk kedalam nilai rata-rata intensitas energi Industri PLTP diseluruh indonesia (Pada posisi peringkat 50% rata-rata).

Dari hasil kegiatan audit energi di PLTP Patuha didapat potensi efisiensi energi sebesar 1.155.996 kWh/tahun atau setara 4.161,59 GJ per tahun atau senilai 1,27 Milyar Rupiah/tahun dengan biaya implementasi sekira 3,64 Milyar Rupiah. Berikut ini rangkuman rekomendasi hasil audit energi:

No	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi/ Cost (Rp)	Payback Period	Costing Category (Investasi)
		Energi (kWh/bln)	Biaya (Rp./bln)			
A. PENGGUNA ENERGI di FASILITAS UTAMA (PEMBANGKITAN)						
1.	Pemasangan VSD pada Fan CT (pada 2 unit motor fan) *)	21.600	24.078.384	1.170.000.000	48 bulan	High Cost – Prior 1
2.	Pemasangan VSD pada Hot Well Pump (HWP) *)	43.200	48.156.768	1.440.000.000	30 bulan	High Cost – Prior 1
3.	Pemasangan VSD pada Motor Re-injeksi Pump	11.160	12.440.498	212.400.000	17 bulan	Low Cost – Prior 2
4.	Pemasangan unit SA Compressor	15.940	17.769.847	375.000.000	21,1 bulan	Low Cost – Prior 2
5.	Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor	2.592	2.889.406	100.000.000	34,5 bulan	Low Cost – Prior 2
6.	Penggantian Motor Unit pada Pompa Raw Water Intake di Cipaku	207	91.727	7.000.000	76,3bulan	Low Cost – Prior 2
7.	Pemasangan Mikrohidro di Sungai Cipaku untuk penerangan (lampu/lighting dan PJU) *)	2.172	2.419.534	301.657.500	10.4 tahun	High Cost – Prior 2
*) perlu dilakukan kajian selanjutnya (FS DED) sebelum dilakukan implementasi lebih lanjut oleh PLTP Patuha						

No.	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi (Rp)	Payback Period (Tahun)	Costing Category
		Energi (kWh/bln)	Biaya (Rp./bln)			
B. PENGGUNA ENERGI di FASILITAS PENUNJANG (BANGUNAN KANTOR)						
1.	Pemasangan sistem metering (kWh meter) di Panel Incoming Gedung *) *) <i>Sistem monitoring (Sistem penunjang data & informasi)</i>	-	-	20.000.000	-	Medium cost.
2.	Monitoring (house keeping) Sistem Distribusi dan Kualitas Kelistrikan Gedung Kantor *) *) <i>Dimasukkan kedalam sistem kerja PAM (Predictive Maintenance)</i>	-	-	-	-	No cost.
3.	Perbaikan Kualitas Penerangan (Kuat Pencahayaannya) di Ruang-Ruangan *) *) <i>Masuk dalam biaya operasi dan perawatan</i>	-	-	54.686.000		Medium cost.
4.	Pemasangan PLTS Rooftop On Grid di gedung Kantor Admin PLTP Patuha **)	1303,3	1.955.000	318.150.000	> 12	High cost
5.	Melakukan capacity building personel pengelola energi di PLTP Patuha sebagai implementasi "Budaya Hemat Energi" di Perusahaan	-	-	50.000.000	-	Low Cost

No.	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi (Rp)	Payback Period (Tahun)	Costing Category
		Energi (kWh/bln)	Biaya (Rp./bln)			
6.	Mengimplementasi aplikasi "smart building" di kantor gedung admin PLTP Patuha dengan memasang: a. Motion sensor (sensor gerak) b. Remote saklar ruangan kerja staf c. Saklar terpusat gedung admin atas	108,54 ^{*)}	151.900	5.875.000 5.850.000 9.950.000 21.675.000	11,8	Low Cost Low Cost Low Cost
7.	Pemasangan PLTS Battery (Terpusat dan Synchronize dengan Grid) di Lokasi Sumur untuk suplai daya PJU di area sumur ^{*)}	6.782	10.173.000 0	1.241.250.000	10,7 tahun	High Cost
	*) 10% daya penerangan di gedung *) perlu dilakukan kajian selanjutnya (FS DED) sebelum dilakukan implementasi lebih lanjut.					

No.	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan Energi Listrik (kWh/bIn)		Biaya Investasi (Rp)	Payback Period (Tahun)	Costing Category
		Energi Listrik (kWh/bIn)	Biaya (Rp/bIn)			
C. TOTAL PENGHEMATAN & INVESTASI						
1.	Penghematan Energi/Biaya dan Investasi di Pengguna Utama (Pembangkit)	96.871	107.846.164	3.606.057.500		No Cost - High Cost
2.	Penghematan Energi/Biaya dan Investasi di Bangunan (Penunjang & Domestik)	8.085	12.279.950	1.631.075.000		No Cost - High Cost
3.	Total Penghematan per Tahun & Investasi	1.259.472 kWh/ tahun	1.441.513.440 per tahun	5.237.132.500		No Cost - High Cost
D. TOTAL PENGGUNAAN DAN BIAYA ENERGI SERTA PROSENTASI PENGHEMATAN						
1.	Total Penggunaan Energi tahun 2020 di PLTP Patuha Unit- 1	<u>Rincian Konsumsi & Biaya Energi:</u> Total Konsumsi Energi = 23.976.085 kWh/tahun Total Biaya Energi = Rp. 26.709.358.690,- /tahun (asumsi TDL Rp. 1114/ kWh)				
2.	% Penghematan Biaya per Tahun dari Audit Energi Thn 2021 di PLTP Patuha Unit 1	= Total Penghematan Biaya / Total Biaya Energi = Rp. 1.441.513.440 / Rp. 26.709.358.690 atau 5,40% (penghematan biaya energi)				

Program rencana aksi penghematan yang disarankan untuk diimplementasi berdasarkan rekomendasi yang telah diberikan dalam tabel rekomendasi penghematan diatas (dalam 5 tahun kedepan) adalah:

No	Rekomendasi Penghematan	Rencana Aksi Implementasi & Alokasi Anggaran				
		2021	2022	2023	2024	2025
1	Pemasangan VSD pada Fan CT (pada 2 unit motor fan)	5%	5%	30%	40%	20%
2	Pemasangan VSD pada Hot Well Pump (HWP)	5%	5%	30%	40%	20%
3	Pemasangan VSD pada Motor Re-injeksi Pump	5%	75%	20%		
4	Pemasangan Unit SA (<i>Service Air</i>) Compressor	5%	75%	20%		
5	Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor	5%	95%			
6	Penggantian Motor Unit pada Pompa Raw Water Intake di Cipaku	5%	95%			
7	Pemasangan Mikrohidro di Sungai Cipaku untuk penerangan (PJU)	5%	5%	60%	30%	
8	Pemasangan sistem metering (kWh meter) di Panel Incoming Gedung *) *) <i>Sistem monitoring (Sistem penunjang data & informasi)</i>	50%	50%			
9	Monitoring (<i>house keeping</i>) Sistem Distribusi dan Kualitas Kelistrikan Gedung Kantor *) *) <i>Dimasukan kedalam sistem kerja PdM (Predictive Maintenance)</i>	No Cost	No Cost	No Cost	No Cost	No Cost
10	Perbaikan Kualitas Penerangan (Kuat Pencahayaan) di ruang *) *) <i>Masuk dalam biaya operasi dan perawatan</i>	20%	40%	40%		
11	Pemasangan PLTS Rooftop On Grid di gedung Kantor Admin PLTP Patuha	5%	5%	60%	30%	

No	Rekomendasi Penghematan	Rencana Aksi Implementasi & Alokasi Anggaran				
		2021	2022	2023	2024	2025
12	Melakukan <i>capacity building</i> personel pengelola energi di PLTP Patuha sebagai implementasi "Budaya Hemat Energi" di Perusahaan	30%		35%		35%
13	Mengimplementasi aplikasi " <i>smart building</i> " di kantor gedung admin PLTP Patuha dengan memasang: a. Motion sensor (sensor gerak) b. Remote saklar ruangan kerja staf c. Saklar terpusat gedung admin atas	30%	35%	35%		
14	Pemasangan PLTS Battery (Terpusat dan <i>Synchronize</i> dengan <i>Grid</i>) di Lokasi Sumur untuk suplai daya PJU di area sumur	20%	20%	20%	20%	20%

DAFTAR ISI

Kata Pengantar - iii
Ringkasan Eksekutif - iv
Daftar Isi - xiv
Daftar Gambar - xx
Daftar Tabel - xxiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang - 1
1.2 Maksud dan Tujuan - 4
1.3 Lokasi Pekerjaan - 5
1.4 Ruang Lingkup Pekerjaan - 5
1.5 Durasi Pekerjaan dan Jadwal Pelaksanaan - 13
1.6 Tim Pelaksanaan Audit Energi - 13

BAB II DESKRIPSI PLANT

2.1 Profil Perusahaan - 17
2.2 Gambaran Fasilitas PLTP - 19
 2.2.1 Fasilitas Utama - 19
 2.2.1.1 *Well Pad* - 19
 2.2.1.2 Rumah Pembangkit (*Power House*) - 22
 2.2.1.2.1 *Demister* - 23
 2.2.1.2.2 *Steam Turbine-Generator* - 24
 2.2.1.2.3 *Kondensor* - 25
 2.2.1.2.4 *Ejector* - 26
 2.2.1.2.5 *Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP)* - 27
 2.2.1.2.6 *Intercondenser* - 27
 2.2.1.2.7 *Cooling Tower* - 28
 2.2.1.2.8 *Hot Well Pump (HWP)* - 29
 2.2.1.2.9 *Pompa Re-injeksi* - 30

- 2.2.1.2.10 *Emergency Diesel Generator (EDG)* - 30
- 2.2.1.3 *Pengolahan Air (Water Treatment)* - 31
 - 2.2.1.3.1 *Raw Water Intake Pump & Booster Pump* - 31
 - 2.2.1.3.2 *Raw Water Pump* - 31
 - 2.2.1.3.3 *Treated Water Pump* - 32
 - 2.2.1.3.4 *Portable Water Pump* - 32
- 2.2.2 *Fasilitas Penunjang* - 33

BAB III DESKRIPSI STATUS ENERGI

- 3.1 *Konsumsi Energi* - 35
 - 3.1.1 *Energi Primer* - 35
 - 3.1.2 *Energi Final* - 37
- 3.2 *Produksi Listrik* - 39
- 3.3 *Distribusi Energi* - 41
- 3.4 *Significant Energy User (SEUs)* - 42
- 3.5 *Unjuk Kerja (Kinerja) Energi* - 43
 - 3.5.1 *Intensitas Energi (IKE)* - 43
 - 3.5.2 *Kinerja Pembangkit* - 45
 - 3.5.3 *Benchmarking* - 47
 - 3.5.3.1 *Benchmarking Intensitas Energi berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal PPKL Kementerian LHK* - 48
 - 3.5.3.2 *Benchmarking berdasarkan Own Used Ratio (%) Skala Nasional* - 49
 - 3.5.3.3 *Benchmarking berdasarkan Own Used Ratio (%) Skala International* - 49
 - 3.5.4 *Normalisasi Regresi* - 50
 - 3.5.5 *Baseline & Baseload* - 53
- 3.6 *Potensi Pelepasan Gas Rumah Kaca (Emisi CO₂)* - 56
- 3.7 *Status Pemakaian Air* - 57

BAB IV EVALUASI PADA PENGGUNA ENERGI UTAMA

- 4.1 *Evaluasi Kelistrikan* - 61

- 4.1.1 Kualitas Daya Kelistrikan - 62
 - 4.1.1.1 Metodologi Analisa Kualitas Daya Kelistrikan - 62
 - 4.1.1.2 Metodologi Pengukuran Kelistrikan - 70
- 4.1.2 Beban listrik pada Peralatan Auxillary – 70
- 4.1.3 Distribusi Beban Terukur pada Peralatan *Auxillary* - 72
- 4.1.4 Sistem Kelistrikan utama UAT PLTP Patuha Unit-1 -74
 - 4.1.4.1 Kualitas Kelistrikan Pada *Feeder* 6 kV MV Board (UMVB) - 74
 - 4.1.4.2 Kualitas Kelistrikan Pada *Feeder* 380 Volt LV Board (MCC-1) - 78
 - 4.1.4.3 Kualitas Kelistrikan Pada *Feeder* 380 Volt LV Board (MCC-2) - 81
- 4.1.5 Evaluasi Sistem kelistrikan terhadap Harmonisa yang terjadi pada peralatan SEU di Panel Incoming 6,3 kV - 85
- 4.1.6 Evaluasi Konsumsi Listrik di Gedung/Bangunan - 88
 - 4.1.6.1 Gedung Kantor Admin (atas) - 88
 - 4.1.6.2 Gedung Kantor *Basecamp* (bawah) - 89
- 4.1.7 Kesimpulan Hasil Pengukuran kualitas kelistrikan - 90
- 4.2 Pemeriksaan *Reliability* pada Peralatan *Auxillary* Kategori SEUs - 92
 - 4.2.1 Evaluasi Unjuk Kerja dan Pemeriksaan *Reliability Unit* - 92
 - 4.2.1.1 Evaluasi terhadap Kondisi Termal - 92
 - 4.2.1.2 Evaluasi terhadap Kondisi Vibrasi - 100
- 4.3 Evaluasi Peralatan Pengguna Utama Energi di Pembangkit - 108
 - 4.3.1 *Steam Turbin Generator* - 108
 - 4.3.1.1 Metodologi Evaluasi *Steam Generator* - 108
 - 4.3.1.2 Data dan Fakta *Steam Turbin Generator* - 111
 - 4.3.1.3 Evaluasi Performa *Steam Turbin Generator* - 112
 - 4.3.2 *Liquid Ring Vacuum Pump* (LRVP) - 114
 - 4.3.2.1 Metodologi Evaluasi LRVP - 114
 - 4.3.2.2 Data dan Fakta LRVP - 117
 - 4.3.2.3 Evaluasi Performa LRVP - 119
 - 4.3.3 *Hot Well Pump* (HWP) -121

- 4.3.3.1 Metodologi Evaluasi HWP - 121
- 4.3.3.2 Data dan Fakta HWP - 123
- 4.3.3.3 Evaluasi Performa HWP - 127
- 4.3.4 *Cooling Tower* (CT) - 128
 - 4.3.4.1 Metodologi Evaluasi CT - 128
 - 4.3.4.2 Data dan Fakta CT - 134
 - 4.3.4.3 Evaluasi Performa CT -138
- 4.3.5 Pompa Re-injeksi Kondensat - 138
 - 4.3.5.1 Metodologi Evaluasi Pompa Re-injeksi - 138
 - 4.3.5.2 Data dan Fakta Pompa Re-injeksi - 138
 - 4.3.5.3 Evaluasi Performa Pompa Re-injeksi - 141
- 4.3.6 Pompa *Raw Water Intake & Booster* Cipaku - 143
 - 4.3.6.1 Metodologi Evaluasi Pompa di Cipaku - 1143
 - 4.3.6.2 Data dan Fakta Pompa Cipaku -143
 - 4.3.6.3 Evaluasi Performa Pompa Cipaku - 147

BAB V EVALUASI PERFORMA ENERGI DI FASILITAS PENDUKUNG (GEDUNG)

- 5.1 Pendahuluan - 151
- 5.2 Gedung Kantor Admin PLTP - 152
 - 5.2.1 Indeks Efisiensi Energi Gedung - 152
 - 5.2.2 Kualitas Sistem Suplai dan Distribusi Kelistrikan - 156
 - 5.2.3 Kualitas (kenyamanan) visual dan thermal ruangan - 163
 - 5.2.4 Potensi PLTS *on-grid* Sebagai Sumber Daya Alternatif - 173
 - 5.2.5 Selubung Bangunan - 175
 - 5.2.6 Kesimpulan dan Saran - 159
- 5.3 Gedung Kantor *Basecamp* - 191
 - 5.3.1 Indeks Efisiensi Energi Gedung - 191
 - 5.3.2 Kualitas *Supply* dan Distribusi Kelistrikan - 194
 - 5.3.3 Kualitas (kenyamanan) visual dan termal ruangan - 198
 - 5.3.4 Kesimpulan dan Saran - 208

BAB VI POTENSI PENGHEMATAN ENERGI

- 6.1 Potensi Penghematan Energi di Fasilitas Utama - 211
 - 6.1.1 Pemasangan VSD pada Fan CT - 213
 - 6.1.2 Pemasangan VSD pada Hot Well Pump (HWP) - 217
 - 6.1.3 Pemasangan VSD pada Motor Re-injeksi Pump - 218
 - 6.1.4 Pemasangan *Air Compressor* untuk *Service Air* (SAC) - 218
 - 6.1.5 Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor - 220
 - 6.1.6 Penggantian Motor Unit pada Pompa *Raw Water Intake* di Cipaku - 223
 - 6.1.7 Pemasangan Mikrohidro di Cipaku untuk Keperluan Penerangan - 224
- 6.2 Potensi Perbaikan Kualitas dan Penghematan Energi Di Fasilitas Pendukung (Gedung Kantor) - 231
 - 6.2.1 Pemasangan sistem metering (*kWh-meter*) di Panel *Incoming* Gedung - 232
 - 6.2.2 *Monitoring (house keeping)* Sistem Distribusi dan Kualitas Kelistrikan Gedung Kantor - 233
 - 6.2.3 Perbaikan Kualitas Penerangan (Kuat Pencahayaan) di Ruang-Ruangan Dengan Kombinasi Sumber Listrik dari PLTS *on-Grid (Rooftop)* - 233
 - 6.2.4 Membangun Budaya Hemat Energi - 243
 - 6.2.5 Aplikasi *Smart Building* - 245
 - 6.2.6 PLTS terpusat *on-grid* di Lokasi Sumur PLTP Patuha - 250

BAB VII KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

- 7.1 Kesimpulan - 259
 - 7.1.1 Kinerja Energi PLTP - 259
 - 7.1.2 Penggunaan Energi Sendiri (*Own Used*) dan SEUs - 260
 - 7.1.3 Kinerja *Steam Turbin Generator* - 261
 - 7.1.4 Kualitas Kelistrikan - 261
 - 7.1.5 Kinerja Peralatan Utama Pengguna Energi - 263
 - 7.1.6 Kinerja Peralatan Penunjang (Bangunan Kantor) -267
- 7.2 Rekomendasi -

7.2.1 Tabel Rekomendasi - 268

7.1.2 Tabel Rencana Aksi Implementasi - 273

LAMPIRAN

Lampiran 1 - *Raw Data* Pengukuran Listrik (*Soft File*)

Lampiran 2 - *Calculation Sheet* Evaluasi Performa Peralatan Utama (*Soft File*)

Lampiran 3 - Simulasi PV Syst Perancangan PLTS (*Soft File pdf*)

Daftar Gambar

- Gambar 1. 1.** Kebutuhan energi final di sektor industri - 2
- Gambar 2. 1.** Gedung kantor administrasi PT Geo Dipa Energi (Persero) Patuha - 18
- Gambar 2. 2.** Peta lokasi PT Geo Dipa Energi (persero) PLTP Unit 1 Patuha - 19
- Gambar 2. 3.** Peta lokasi *Well Pad* (Sumur injeksi dan sumur produksi) - 20
- Gambar 2. 4.** Salah satu lokasi *Well Pad* (Lokasi D – Well 3, 3A, 3B) - 21
- Gambar 2. 5.** Diagram alir proses pembangkitan listrik PLTP Patuha Unit-1 - 22
- Gambar 2. 6.** Demister PLTP Patuha Unit-1 - 24
- Gambar 2. 7.** Turbin Uap dan Generator PLTP Patuha Unit-1 - 25
- Gambar 2. 8.** Kondensor PLTP Patuha Unit-1 -26
- Gambar 2. 9.** *Ejector* PLTP Patuha Unit-1- 26
- Gambar 2.10.** LRVP - PLTP Patuha Unit-1 - 27
- Gambar 2.11.** Intercondensor PLTP Patuha Unit-1 - 28
- Gambar 2.12.** *Cooling tower* PLTP Patuha Unit-1 - 29
- Gambar 2.13.** *Hot Well Pump* (HWP) PLTP Patuha Unit-1 - 29
- Gambar 2.14.** *Re-injection pump* di PLTP Patuha Unit-1 - 30
- Gambar 2.15.** *Emergency Diesel Generator* (EDG) di PLTP Patuha Unit-1 - 31
- Gambar 2.16.** Diagram alir proses pengolahan air (*water treatment*) PLTP Patuha Unit-1 - 31
- Gambar 2.17.** Pompa *Raw Water Intake* dan *Booster* PLTP Patuha Unit-1 - 32
- Gambar 2.18.** Lokasi Bangunan Kantor admin pembangkit dan kantor *basecamp* - 33
- Gambar 2.19.** Bangunan Kantor admin pembangkit (kiri) dan kantor *basecamp* (kanan) - 34

- Gambar 3.1.** Pola konsumsi steam (aliran *steam* yang masuk turbin) selama periode tahun 2018-2020 - 36
- Gambar 3. 2.** Pola konsumsi listrik (*own used*) periode tahun 2018-2020 - 37
- Gambar 3. 3.** Perbandingan produksi listrik *gross*, *nett* dan *own used* tahun 2018-2020 - 39
- Gambar 3. 4.** Distribusi Penggunaan Energi (*Sankey diagram*) PLTP Patuha - 41
- Gambar 3. 5.** Grafik pareto *auxiliary power* di PLTP Patuha - 43
- Gambar 3. 6.** Intensitas energi berdasarkan konsumsi energi *own used* - 45
- Gambar 3. 7.** Intensitas kinerja pembangkit PLTP Patuha periode 2018-2020 - 47
- Gambar 3. 8.** *Benchmarking* Intensitas energi berdasarkan Peraturan DJPPL KLHK - 49
- Gambar 3.9.** Uji Regresi konsumsi energi listrik vs produksi tahun 2019 - Juni 2020 - 53
- Gambar 3. 9.** Konsumsi Energi (Aktual vs *expected*) dan Cussum - 56
- Gambar 3. 11.** Nilai Intensitas Pemakaian Air terhadap Acuan Data - 59
- Gambar 4. 1.** *Single line diagram* (SLD) kelistrikan di PLTP Patuha - 61
- Gambar 4. 2.** Hubungan antara *unbalance* Tegangan dan derating motor - 63
- Gambar 4. 3.** Gelombang Harmonik - 65
- Gambar 4. 4.** Segitiga Daya listrik - 69
- Gambar 4. 5.** Dokumentasi pengukuran di panel incoming Auxillary PLTP Patuha - 70
- Gambar 4. 6.** Pareto Distribusi Beban Pemakaian Sendiri (PS) - 73
- Gambar 4. 7.** Dokumentasi pengukuran kelistrikan di feeder 6 kV MV Board (UMVB) - 74
- Gambar 4. 8.** Profil beban feeder 6 kV MV Board (UMVB) - 75
- Gambar 4. 9.** Dokumentasi pengukuran kelistrikan di feeder 380 Volt LV Board MCC-1 - 78

- Gambar 4. 10.** Profile Daya dan Cosphi pada Feeder 380 Volt LV Board MCC-1 - 79
- Gambar 4. 11.** Dokumentasi pengukuran kelistrikan di feeder 380 Volt LV Board MCC-2 - 82
- Gambar 4. 12.** Profile Daya dan Cosphi pada Feeder 380 Volt LV Board MCC-2 - 83
- Gambar 4. 13.** Titik Pengukuran Vibrasi pada posisi Drive End (DE) dan posisi Non Drive End (NDE) - 102
- Gambar 4. 14.** Referensi vibrasi standar, ISO 10816-3 dan ISO 10816-7 - 102
- Gambar 4. 15.** Spesifikasi design *steam turbine generator* - 109
- Gambar 4. 16.** Kondisi operasi (design) *steam turbine generator* - 110
- Gambar 4. 17.** Skematik diagram langkah-langkah menghitung *turbine heat rate* - 111
- Gambar 4. 18.** Profil Output Generator dan *Steam Inlet flowrate* - 112
- Gambar 4. 19.** Diagram sistem kerja dan energi di pompa *vacuum* - 114
- Gambar 4. 20.** *Benchmark* (acuan pembandingan) umum performa pompa *vacuum* - 116
- Gambar 4. 21.** Gambar skema operasi Pompa Vacuum LRVP - 118
- Gambar 4. 22.** Profil load (Amper) Motor LRVP - 118
- Gambar 4. 23.** Diagram sistem kerja dan energi di pompa el-mot - 122
- Gambar 4. 24.** Profil *Flowrate, Pressure Discharge & Load* motor HWP - 129
- Gambar 4. 25.** Skema *Cooling tower type Counter flow-induced draft* - 130
- Gambar 4. 26.** Ilustrasi *Range* dan *Approach* -
- Gambar 4. 27.** Ilustrasi *Range* dan *Approach* -
- Gambar 4. 28.** Profil load (A) *Cooling Tower Fan* selama pengukuran -
- Gambar 4. 29.** Profil *Flowrate & Pressure Discharge* pompa Re-injeksi -
- Gambar 5. 1.** Gambaran gedung admin PLTP Patuha - 152
- Gambar 5. 2.** Profil beban (daya) harian di gedung admin - 153
- Gambar 5. 3.** Distribusi energi listrik di gedung admin - 155

- Gambar 5. 4.** Pengukuran kelistrikan di panel *incoming* gedung admin - 156
- Gambar 5. 5.** Profil daya aktual yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 157
- Gambar 5. 6.** Profil frekuensi (Hz) yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 157
- Gambar 5. 7.** Profil faktor daya (cos phi) yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 158
- Gambar 5. 8.** Profil *unbalance* tegangan yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 158
- Gambar 5. 9.** Profil *unbalance* arus yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 159
- Gambar 5. 10.** Profil beban arus (R-S-T) yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 160
- Gambar 5.11.** Profil THD tegangan fase (R-S-T) yang terukur di panel *incoming* gedung admin PLTP Patuha - 161
- Gambar 5. 12.** Profil THD arus fase (R-S-T) yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 162
- Gambar 5. 13.** Profil THD tegangan dan arus pada orde ganjil fase (R-S-T) yang terukur di panel *incoming* gedung admin - 163
- Gambar 5. 14.** Gambaran sistem tata cahaya di ruangan-ruangan gedung admin (atas) PLTP Patuha - 182
- Gambar 5. 15.** Elemen arsitektur sebagai pelindung radiasi matahari -
- Gambar 5. 16.** Profil Gedung Admin PLTP Patuha - 183
- Gambar 5. 17.** Gambaran pola *solar exposure* gedung admin PLTP Patuha - 184
- Gambar 5. 18.** Gambaran simulasi *solar exposure* gedung admin PLTP Patuha - 191
- Gambar 5. 19.** Gambaran gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha - 194
- Gambar 5. 20.** Distribusi energi listrik di gedung *basecamp* - 194
- Gambar 5. 21.** Pengukuran kelistrikan di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha - 195
- Gambar 5. 22.** Profil faktor daya (cos phi) yang terukur di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha - 196

- Gambar 5. 23.** Profil *unbalance* tegangan yang terukur di panel *incoming* gedung kantor basecamp PLTP Patuha - 196
- Gambar 5. 24.** Profil *unbalance* arus yang terukur di panel *incoming* gedung kantor basecamp PLTP Patuha - 197
- Gambar 5. 25.** Profil beban arus (R-S-T) yang terukur di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha - 198
- Gambar 5. 26.** Gambaran sistem tata cahaya di ruangan-ruangan gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha -
- Gambar 6. 1.** Grafik Peluang dan Resiko penghematan energi di masing-masing prioritas - 212
- Gambar 6. 2.** Profil output generator (gross) vs Temperatur outlet Kondensor - 214
- Gambar 6. 3.** Prinsip kerja VSD pada motor listrik bolak-balik (AC) - 214
- Gambar 6. 4.** Kondisi operasi kompresor dan udara tekan di PLTP Patuha saat ini - 219
- Gambar 6. 5.** Diagram alat ukur kebocoran udara tekan (air leak detector) - 221
- Gambar 6. 6.** Contoh pengujian kebocoran udara tekan dengan *air leak detector* - 221
- Gambar 6. 7.** Skema Komponen Sipil Sistem PLTMH - 225
- Gambar 6. 8.** Contoh Dam/ Water intake untuk PLTMH - 226
- Gambar 6. 9.** Lokasi Dam/water intake di Sungai Cipaku untuk PLTMH - 226
- Gambar 6. 10.** Contoh fasilitas *Settling basin* (bak pengendap) pada PLTMH - 227
- Gambar 6. 11.** Contoh fasilitas *headrace* (saluran pembawa) pada PLTMH - 227
- Gambar 6. 12.** Contoh fasilitas *headtank* (bak penenang) pada PLTMH - 228
- Gambar 6. 13.** Contoh fasilitas *penstock* (pipa pesat) pada PLTMH - 228
- Gambar 6. 14.** Contoh turbin generator pada PLTMH - 229
- Gambar 6. 15.** Contoh panel MDP distribusi listrik pada PLTMH - 229

Gambar 6. 16. Potensi *Rooftop* (atap) di Bangunan Gedung Admin - 235

Gambar 6. 17. Diagram sistem PLTS grid connected (OnGrid) - 235

Gambar 6. 18. Contoh PLTS *rooftop* di atas *carport* (area parkir) - 243

Gambar 6. 19. Langit-langit jenis *ceilingtile* - 249

Daftar Tabel

- Tabel 1.1. Ruang lingkup pekerjaan audit energi - 6
- Tabel 1.2. Agenda *kick off meeting* - 8
- Tabel 1.3. Jadwal kegiatan mingguan - 15
- Tabel 1.4. Jadwal kegiatan detail -15
- Tabel 3.1. Konsumsi *steam* tahun 2018-2020 - 35
- Tabel 3.2. Konsumsi energi listrik (*Own Used*) tahun 2018-2020 - 38
- Tabel 3.3. Produksi dan *Own used/house load ratio* tahun 2017-2018 - 40
- Tabel 3.4. Statistik Produksi listrik dan *own used* (2018 - 2020) - 41
- Tabel 3.5. Peralatan Pengguna Energi di PLTP Patuha - 42
- Tabel 3.6. Produksi/Penjualan (*nett*), konsumsi *own used* dan intensitas energi - 44
- Tabel 3.7. Produksi/penjualan (*nett*), konsumsi *steam* dan intensitas kinerja pembangkit - 46
- Tabel 3.8. *Benchmarking* PLTP Patuha berdasarkan *House Load Ratio* (%) Nasional - 50
- Tabel 3.9. *Benchmarking* PLTP Patuha berdasarkan *House Load Ratio* (%) International - 51
- Tabel 3.10. Uji regresi konsumsi energi listrik vs produksi tahun 2019 - Juni 2020 - 52
- Tabel 3.11. Indeks konsumsi energi tahun 2019-2020 - 55
- Tabel 3.12. Pemakaian Air 2020 - 58
- Tabel 4.1. Batas distorsi tegangan sistem transmisi dan distribusi listrik - 68
- Tabel 4.2. Batas distorsi arus listrik - 68
- Tabel 4.3. *Panel equipment Load* PS yang dilakukan pengamatan dan pengukuran - 71
- Tabel 4.4. Prosentase *Load* peralatan dan kualitas kelistrikan - 72
- Tabel 4.5. Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan *Feeder* 6 kV MV Board (UMVB) - 77

- Tabel 4.6.** Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 - 81
- Tabel 4.7.** Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2 - 85
- Tabel 4.8.** Kondisi thermografi peralatan SEU's di PLTP Patuha Unit-1 - 111
- Tabel 4.9.** Data pengamatan dan pengukuran evaluasi performa pompa *vacuum* LRVP - 115
- Tabel 4.10.** Ringkasan performa CT PLTP Patuha Unit 1 (malam dan siang hari) -
- Tabel 5.1.** Data luas ruangan, masing-masing ruangan di gedung admin - 153
- Tabel 5.2.** Hasil pengukuran kuat penerangan di ruangan-ruangan gedung admin - 163
- Tabel 5.3.** Nilai α (Absorbtansi radiasi matahari) - 165
- Tabel 5.4.** Nilai Rup dan Rul (resistansi thermal permukaan dinding) - 178
- Tabel 5.5.** Nilai Rk untuk berbagai jenis bahan dinding dan pelapis dinding - 178
- Tabel 5.6.** Nilai Tdek untuk karakteristik dinding bangunan - 178
- Tabel 5.7.** Nilai SF untuk berbagai orientasi bangunan - 179
- Tabel 5.8.** Nilai SC/*Shading coeficient* untuk berbagai tipe Elemen arsitektur sebagai pelindung radiasi matahari - 179
- Tabel 5.9.** Nilai SC/*Shading coeficient* untuk elemen lansekap (vegetasi) sebagai pelindung radiasi matahari - 180
- Tabel 5.10.** Nilai SC/*Shading coeficient* untuk berbagai jenis material kaca - 181
- Tabel 5.11.** Data luas ruangan, masing-masing ruangan di gedung *basecamp* - 181
- Tabel 5.12.** Hasil pengukuran kuat penerangan di ruangan-ruangan *basecamp* - 192
- Tabel 5.13.** Hasil pengukuran spesifik daya lampu di ruangan-ruangan *basecamp* - 198

- Tabel 6.1.** Kategori pengguna energi signifikan di PLTP Patuha Unit-1 - 211
- Tabel 6.2.** Daftar Peluang penghematan energi di fasilitas pengguna energi utama - 212
- Tabel 6.3.** Tabel referensi identifikasi tingkat kebocoran udara tekan - 222
- Tabel 7.1** Rekomendasi Penghematan Energi dan Biaya di PLTP Patuha Unit-1 Hasil Audit Energi Tahun 2021: *Significant Energy Uses* - 268
- Tabel 7.2** Rekomendasi Penghematan Energi dan Biaya di PLTP Patuha Unit-1 Hasil Audit Energi Tahun 2021: Fasilitas Penunjang - 269
- Tabel 7.3** Rekomendasi Penghematan Energi dan Biaya di PLTP Patuha Unit-1 Hasil Audit Energi Tahun 2021: Biaya Investasi dan Penghematan - 271
- Tabel 7.4.** Rencana Aksi dan Alokasi Anggaran PPE - 273

BAB 1

PENDAHULUAN

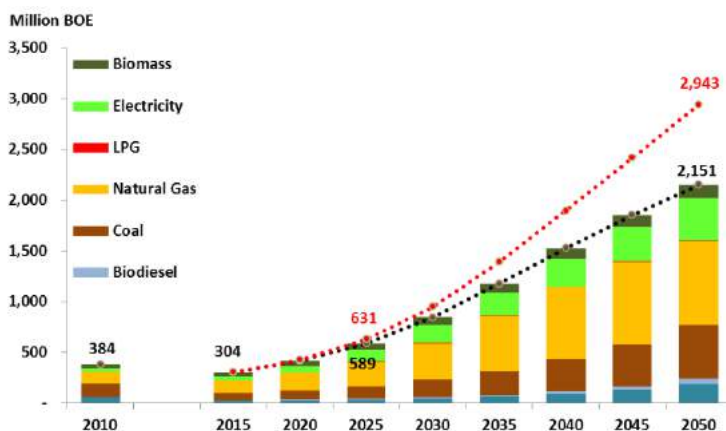
1.1 Latar Belakang

Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan energi nasional yang meliputi kebijakan penyediaan energi yang efektif dan efisien, serta melaksanakan konservasi energi, melaksanakan diversifikasi dalam memanfaatkan energi, menetapkan harga energi ke arah harga keekonomian, dan pelestarian lingkungan. Kebijakan tersebut tertuang dalam Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang energi, Peraturan Pemerintah no 70 tahun 2009 tentang konservasi energi, dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 (tentang penghematan bahan bakar), Nomor 13 (tentang penghematan tenaga listrik), dan Nomor 14 (tentang manajemen energi).

Dalam hal konservasi energi, kebijakan dibuat untuk meningkatkan penggunaan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi kuantitas energi yang diperlukan untuk suatu proses kegiatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan akhir dengan menggunakan teknologi yang efisien dan membudidayakan pola hidup hemat energi.

Sektor industri merupakan sektor yang menggunakan energi paling besar daripada sektor lainnya (transportasi, rumah tangga, komersial, dan sektor lainnya). Indonesia yang saat ini masih bertatus sebagai negara berkembang, yang akan mengarah menjadi negara maju dengan diindikasikan oleh adanya dominasi industri dalam menunjang perekonomiannya. Hal tersebut menjadikan kebutuhan energi sektor industri ini diperkirakan tetap menjadi porsi dominan dalam jangka panjang. Dari laporan

yang dikeluarkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) tahun 2017, tentang Outlook Energi Indonesia 2017, didapati bahwa pangsa kebutuhan energi final sektor industri meningkat dari 29% pada tahun 2015 menjadi 43%-44% pada tahun 2050. Hal ini tentunya mennggambarkan bahwa peningkatan kebutuhan energi di sektor industri akan sangat mempengaruhi total kebutuhan energi di Indonesia pada tahun mendatang, seperti juga diperlihatkan oleh Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Kebutuhan energi final di sektor industri.
(Sumber: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, *Outlook Energi Indonesia 2017*).

Program penghematan penggunaan energi oleh pemerintah terhadap kegiatan di sektor industri merupakan *main stream* yang mendorong perlunya pelaksanaan penghematan dan konservasi energi. Di samping itu, secara global faktor pendorong terbesar adalah meningkatnya emisi gas rumah kaca yang timbul dari pembakaran bahan bakar fosil dalam industri dan pembangkit sektor listrik yang menuntut perusahaan-perusahaan pengguna energi besar untuk menekan laju emisi gas buang seminimal mungkin. PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit-1 sebagai salah satu perusahaan pembangkitan listrik geotermal merupakan salah satu pendorong penggunaan energi baru dan

terbarukan (EBT) berupaya melakukan pengelolaan konsumsi energi dan meminimalisasi penggunaan energi sendiri (*own used*) dalam rangka kegiatan konservasi energi. Pemerintah Indonesia melalui PP 70 tahun 2009 mewajibkan untuk industri yang pengguna energi untuk membangun sistem manajemen energi, yang diuraikan menjadi lebih rinci dalam Permen ESDM No 14/2012. Sistem manajemen energi ini bertujuan agar penghematan penggunaan energi di industri dapat direncanakan, direalisasikan dan dimonitor secara komprehensif. Dari latar belakang tersebut, maka PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit 1 memandang perlunya program konservasi energi pada fasilitas pembangkit listrik geotermal di Patuha dengan melaksanakan kegiatan audit energi. Melalui kegiatan audit energi ini diharapkan peluang penghematan energi dapat diketahui dan menjadi dasar program konservasi energi di PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit 1 dalam 3 (tiga) tahun kedepan.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Patuha Unit 1 merupakan fasilitas utama penghasil energi yang dimiliki oleh PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha, beroperasi sejak tahun 2014. Sebagai salah satu perusahaan pengguna energi baru terbarukan dan juga penghasil energy (listrik), maka PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit 1 senantiasa berupaya untuk memastikan kesinambungan pasokan energi listrik dan steam bagi kebutuhan pabrik dengan kualitas prima dan biaya yang semakin efisien. Dalam rangka peningkatan kinerja energi fasilitas PLTP Patuha Unit 1, maka diperlukan banyak program kerja yang mendukung target kinerja yang telah ditetapkan. Karenanya, salah satu program kerja di PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit 1 dalam mendukung peningkatan kinerja energi di tahun 2022 - 2024 ini adalah dilakukannya audit energi oleh konsultan independen (PT Sapta Buana Jaya) di area pengguna energi PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit 1.

Audit energi bertujuan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan energi unit-unit dan performance peralatan pengguna energi. Pekerjaan audit energi meliputi assesment penggunaan semua jenis energi yaitu energy primer berupa steam dan energy final berupa listrik di fasilitas pembangkit listrik PLTP. Dengan melaksanakan audit energi tersebut diharapkan adanya masukan mengenai langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Untuk itu maka telah dilaksanakan Perjanjian Kerja antara PT Geo Dipa Energi (Persero) PLTP Patuha Unit 1 dengan PT Sapta Buana Jaya sebagai konsultan independen. Berdasarkan Kontrak Kerja/PO yang telah dikeluarkan oleh PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha maka telah dilaksanakan pekerjaan survey Audit Energi di fasilitas pembangkit listrik PLTP Patuha Unit 1 mulai tanggal 22 s/d 26 Maret 2021.

1.2 Maksud & Tujuan

Maksud dilaksanakan kegiatan Audit Energi ini adalah mengetahui performa /unjuk kerja sistem dan peralatan pengguna energi di fasilitas PLTP dan juga keandalannya sesuai daftar peralatan kategori SEU's (peralatan utama pengguna energi) yang ada di lokasi.

Audit Energi di fasilitas PT PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha ini dilakukan dengan tujuan untuk:

- Mengetahui Baseline konsumsi energi dan air pada seluruh fasilitas dan sarana utama diseluruh plant PT PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha.
- Memberikan pedoman dalam menentukan langkah-langkah konservasi energi dan air yang bisa diterapkan pada seluruh fasilitas dan sarana utama di seluruh ruang lingkup PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha.

- Mengetahui potensi penghematan yang bisa dicapai setelah menerapkan program konservasi energi dan air yang direkomendasikan.
- Melakukan pemetaan matriks posisi manajemen energi eksisting dibandingkan dengan *baseline* (data audit energi sebelumnya) dan data benchmarking (*best practice* nasional dan dunia/*worldwide*).
- Mengetahui potensi penghematan yang layak secara teknis dan ekonomis serta bisa dilakukan dengan kategori *no/low/medium/high cost*.
- Mengetahui biaya yang dibutuhkan untuk implementasi hasil audit energi dan jangka waktu pengembalian (*pay back period*) dari investasi yang dikeluarkan.
- Memberikan pelatihan/sosialisasi mengenai teknik konservasi energi di lingkungan Unit Satker Pengelolaan Energi PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha yang menjadi ruang lingkup audit energi ini.

1.3 Lokasi Pekerjaan

Lokasi kerja adalah di fasilitas pembangkit listrik panas bumi (PLTP) Patuha Unit-1, di Ciwidey, Kec. Rancabolang, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat.

1.4 Ruang Lingkup Pekerjaan

Secara umum lingkup pekerjaan Audit Energi di fasilitas PLTP Patuha Unit 1, yang terdiri atas sistem dan peralatan seperti diperlihatkan pada tabel-1.1.

Tabel 1.1. Ruang lingkup pekerjaan audit energi

Nama Peralatan	Quantity, Unit/ Lokasi	Remark
A. Fasilitas Produksi		
Pembangkit	1 unit	1 x 55 MW
Steamfield	12 nit	10 sumur produksi dan 2 sumur injeksi
B. Fasilitas Penunjang		
Bangunan Penunjang	17 unit	Fasilitas terdiri dari : 1 power house, 1 gd. Administrasi pembangkit termasuk ruang P3K, 1 gedung. Administrasi <i>basecamp</i> termasuk laboratorium, 1 gedung. <i>Warehouse</i> , 1 gedung <i>Workshop</i> , 1 gedung. WTP, <i>raw water pump station</i> , 11 pos pengamanan.
C. Review Sistem Manajemen Energi		
<ul style="list-style-type: none"> - Pelatihan Pembekalan Audit Energi & Sistem Manajemen Energi berbasis ISO 50001:2018 - Pembuatan buku tentang manajemen energi PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha bernomor ISBN 		

Selanjutnya dilakukan kegiatan pengumpulan dan pengolahan data oleh tim dari PT Sapta Buana Jaya, yang mencakup secara umum kegiatan utama audit energi, antara lain:

1. Melakukan konsultansi Audit Energi Awal (AEA) atau *preliminary audit level*
2. Melakukan konsultansi Audit Energi Terinci (AET) pada peralatan sesuai objek yang telah dijelaskan diatas
3. Melakukan Tinjauan Energi (*energy review*)
4. Menghitung *baseline* penggunaan energi saat ini
5. Melakukan identifikasi penggunaan energi terbesar (SEUs)
6. Merumuskan intensitas energi/ *energy performance indicators* (EnPIs) yang cocok di PT GDE Unit Patuha.

7. Melakukan *benchmarking* dengan perusahaan lain yang sejenis
8. Objek audit energi adalah pada proses/plant produksi listrik (dengan objek yang telah disebutkan diatas) dan fasilitas pendukung dengan objek yang telah disebutkan sebelumnya.
9. Melakukan analisa kelayakan teknis dan ekonomis pada proyek-proyek penghematan energi
10. Memberikan rekomendasi langkah-langkah penghematan energi dan konservasi energi.

Selanjutnya tahapan kegiatan pekerjaan yang telah dilakukan terdiri atas:

1. Persiapan

- a. Mempersiapkan peralatan, ijin kerja dan tenaga kerja yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan.
- b. Membuat rencana kerja mingguan yang akan dilaksanakan oleh PT Sapta Buana Jaya.
- c. Membuat *time schedule* dan proposal teknis pekerjaan. *Time schedule* dan proposal teknis selanjutnya digunakan sebagai acuan kerja di lapangan.
- d. Melakukan *kick off meeting*. Sebelum pekerjaan dilaksanakan, terlebih dahulu dilaksanakan *Kick off Meeting* (KoM) pada tanggal 22 Maret 2021 di lokasi PLTP Patuha membahas hal-hal yang terkait pekerjaan (tabel-1.2)
- e. Menyiapkan alat-alat perlengkapan kerja, material, tenaga kerja, transportasi material, dan ijin kerja yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan.
- f. Semua peralatan yang diperlukan untuk penyelesaian pekerjaan ini disediakan oleh PT Sapta Buana Jaya..
- g. Direksi Pekerjaan terhadap pekerjaan Audit Energi adalah Manajer HSE PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha, yaitu Bapak Mulatua Dencio.

Tabel 1.2. Agenda *kick off meeting*

No	Uraian	Lingkup	
		PT GDE	PT SBJ
1	Pengantar HSE & Protocol Kesehatan	√	
2	<i>Quality plan</i>		√
3	<i>Schedule</i>		√
4	Jam kerja di lingkungan pabrik GGP	√	
5	<i>Deliverable</i> terhadap hasil pekerjaan		√
6	Organisasi project		√
7	Spesifikasi peralatan kerja		√
8	Prosedur pelaksanaan pekerjaan		√

2. Pelaksanaan Pekerjaan

a. Identifikasi komponen

- Mengumpulkan data-data *Process Flow Diagram* (PFD), *Piping & Instrumentation Diagram* (P&ID), data *desain equipment process*, *Engineering Drawing*, dan *plot plant (lay out)* di unit pembangkit PLTP dan distribusi listrik di PT GDE Patuha
- Mengumpulkan data-data operasional aktual dan data penunjang lainnya.
- Mengumpulkan data-data analisa laboratorium air dan emisi udara.

b. Menyusun *Energy and Mass Balance*

- Survey lapangan

Untuk menyusun *energy and mass balance* diperlukan sebagai data meliputi data teknis dan data operasi di unit pembangkit, instalasi dan peralatan yang dilakukan audit. Data tersebut meliputi: laju alir proses, pressure, temperatur dan lain-lain. Jika ada data yang diperlukan untuk analisis tetapi tidak ada dalam data operasi maka dilakukan pengukuran tambahan. Agar data yang

digunakan dapat mewakili kondisi operasi maka dilakukan *performance test* pada saat beban saat operasi pembangkit PLTP dimana pembangkit PLTP Patuha beroperasi secara penuh dan kontinyu.

Performance test dilakukan menggunakan referensi *ASME Performance Test Codes* (PTC) dan juga *British Standard* (BS), sebagai berikut:

- ASME PTC 4.6 – 1996 (*overall plant performance*)
- ASME PTC 6.0 2004 (*steam turbines*)
- Penyusunan *energy and mass balance*
Setelah data terkumpul kemudian disusun *mass balance* dan diikuti dengan *energy balance* baik untuk instalasi ataupun untuk peralatan pengguna energi dan dilanjutkan dengan identifikasi *losses*.

Tujuan dari penyusunan *Energy and Mass Balance*:

- Mengetahui tingkat efisiensi penggunaan energi pada peralatan dan instalasi serta mengetahui besarnya *losses*
- Mengetahui tingkat efisiensi penggunaan energi pada unit pembangkit yang diaudit dan potensi penghematannya
- Mengetahui kondisi kinerja terbaik yang pernah dicapai
- Menetapkan tolok ukur kinerja unit pembangkit dalam bentuk target utilitas minimal dengan menentukan jumlah utilitas yang benar
- Menetapkan kondisi kinerja terbaik yang pernah dicapai dengan sistem perbandingan *benchmark* nasional
- Menetapkan perbaikan sistem pembangkit dan utilitas pada unit pembangkit untuk mencapai optimal

- Mendapatkan hasil evaluasi ekonomi sebagai dasar perbaikan sistem dan modifikasi

c. Performance test audit

Pada *performance test audit* ini dilakukan pemeriksaan secara rinci pada peralatan pengguna energi:

- **Steam Turbin Generator**

Steam Turbin Generator yang dievaluasi *performancenya* adalah tipe *full condensing turbine*. Evaluasi meliputi kondisi operasi, kondisi fisik dan *data design* serta hasil *test commissioning*. Selanjutnya dianalisis efisiensinya dengan metode langsung dan *heat loss method*. Berdasarkan kondisi tersebut dinilai *performance Steam Turbin Generator* tersebut.

- **Electric motor drive**

Motor listrik yang dianalisis adalah motor listrik yang termasuk dalam *Significant Energy Use* pada fasilitas PLTP. Evaluasi berdasarkan hasil pengukuran daya motor dibandingkan dengan beban. Dilakukan juga pengukuran *reliability* (kehandalan) kondisi thermal dan vibrasi motor.

- **Peralatan Mekanik (Rotary)**

Peralatan Mekanik (*rotary equipments*) yang dianalisis adalah peralatan yang termasuk dalam kategori *Significant Energy Use* pada fasilitas PLTP. Evaluasi berdasarkan hasil pengukuran dan data dari CCR. Dilakukan juga pengukuran *reliability* (kehandalan) kondisi *thermal* dan vibrasi peralatan mekanik tersebut.

- **Gedung Penunjang**

Pada audit energi ini juga dilakukan asesmen terhadap kinerja pada bangunan/gedung penunjang, yaitu kantor

PLTP dan kantor *basecamp*. Evaluasi dilakukan merujuk ke standar nasional maupun internasional.

d. Pengumpulan data *benchmarking*

Sebagai bahan pembandingan (target efisiensi) telah dikumpulkan data *benchmark* terbaru untuk unit-unit PLTP di dalam negeri dan internasional. Data tersebut diperoleh dari Direktorat Jenderal Kelistrikan - Kementerian ESDM, data dari Kementerian LHK untuk *National Benchmarking* maupun portofolio/referensi hasil audit energi oleh konsultan.

e. Identifikasi Peluang Peningkatan Efisiensi

Berdasarkan hasil analisis di atas dapat diidentifikasi dan dihitung *losses* yang terjadi baik di unit pembangkit ataupun di peralatan. *Performance* (tingkat efisiensi penggunaan energi) peralatan dan unit pembangkit yang diaudit juga dapat diketahui. Peluang untuk peningkatan efisiensi penggunaan energi (peluang penghematan energi secara teknis) dapat diperoleh berdasarkan *losses* mana saja yang dapat ditekan. Peluang tersebut perlu dievaluasi secara ekonomi untuk mengetahui layak dan tidaknya untuk diimplementasikan. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomis tersebut potensi penghematan dapat dibagi menjadi:

- *Low and no cost* yaitu melakukan pengaturan operasi yang tepat serta pemeliharaan yang tepat serta penggunaan alat sesuai keperluan.
- *Medium cost* yaitu melakukan modifikasi dengan biaya tidak terlalu besar tetapi dapat menghasilkan penghematan energi cukup besar. Yang masuk katagori *Medium Cost* ini jika *pay back period* maksimum 3 tahun.

- *High cost* yaitu melakukan modifikasi dengan biaya cukup tinggi, sehingga *pay back period* di atas 3 tahun. Khusus untuk program penghematan energi dengan biaya tinggi ini perlu dilakukan analisis ekonomi yang lebih mendalam (*feasibility study /FS*).

f. Menyusun usulan program penghematan energi (energy saving program)

Potensi-potensi penghematan energi berdasarkan hasil analisa di atas, selanjutnya disusun menjadi usulan porogram hemat energi dilengkapi dengan deskripsi singkat mengenai usulan tersebut termasuk potensi penghematan (*saving*), perkiraan biaya investasi dan *simple payback period*.

g. Evaluasi keekonomian proyek (investasi tinggi)

Proyek-proyek penghematan energi yang memerlukan investasi tinggi dievaluasi secara lebih rinci untuk mengetahui kelayakan ekonominya (*feasibility study*). Dalam kajian ini dibuat gambar teknis modifikasi, spesifikasi peralatan-peralatan yang diperlukan, perkiraan umur proyek, perkiraan biaya investasi dan perkiraan penghematan biaya energi. Tahap selanjutnya yaitu menghitung tingkat kelayakan finansial dari proyek yang diusulkan.

3. Pekerjaan Finishing / Pelaporan

Deliverable/output dari kegiatan Audit Energi ini antara lain:

- a. Potret Konsumsi Energi (*Input-Proses-Output*) dan buangan ke lingkungan (*waste*), profil beban, efisiensi operasi.
- b. Rekomendasi tindakan untuk peningkatan efisiensi energi.
- c. Mengetahui kualitas energi listrik, steam, bahan bakar dan air yang digunakan di unit pembangkit dan distribusi listrik untuk penggunaan sendiri (*own used*).

- d. Mengetahui kuantitas emisi gas buang yang dihasilkan dari pemakaian energi serta upaya penurunannya.
- e. Menghitung kelayakan finansial secara untuk implementasi program penghematan energi.

1.5. Durasi Pekerjaan dan Jadwal Pelaksanaan

Pekerjaan Audit Energi ini diselesaikan dalam waktu 60 hari kalender terhitung mulai kegiatan survey, dengan jadwal pelaksanaan sebagai berikut:

- (1). *Kick Off Meeting & Walktrough* : 1 hari
- (2). Pelaksanaan Survey : 5 hari
- (3). Penyusunan Laporan : 45 hari kalender
- (4). *Review, Presentasi & Diskusi Klien* : 9 hari kalender
- Total Waktu Pelaksanaan : 60 hari kalender

Matriks jadwal pelaksanaan kegiatan (mingguan) dapat dilihat pada tabel 1.3.

Sedangkan jadwal rinci pelaksanaan audit energi berupa kunjungan ke lapangan atau *site visit* di PTLP Patuha Unit-1 dapat dilihat pada tabel 1.4.

1.6. Tim Pelaksana Audit Energi

Personil yang dibutuhkan untuk pelaksanaan pekerjaan Audit Energi PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha Unit 1 ini terdiri dari:

Tenaga Ahli auditor energi, terdiri dari 4 (empat) orang dengan komposisi sebagai berikut.:

- (1) **Muhammad Firdausi** (*certified Auditor Energi – BNSP/Nasional dan ISO 50001 & EnMS National Expert – UNIDO*)

Sebagai *Team Leader* merangkap Ahli Manajemen Energi, dengan pengalaman diatas 20 tahun pada audit energi di Industri sebagai *team leader* projek.

(2) **Edy Sarwono** (*certified Auditor Energi – BNSP dan International CIGA Germany*)

Sebagai Tenaga Ahli Termodinamika/Termal, dengan pengalaman diatas 17 tahun pada audit energi di Industri sebagai *team leader* projek maupun tenaga ahli termodinamika.

(3) **Wahyun** (*certified Auditor Energi - BNSP*)

Sebagai Tenaga Ahli Elektrikal dengan sertifikasi Auditor Energi bidang Industri (Elektrikal), dengan pengalaman diatas 15 tahun pada Audit Energi di industri.

(4) **Edy Yurisman** (*certified Auditor Energi - BNSP*)

Sebagai Tenaga Ahli Mekanikal dengan sertifikasi Auditor Energi bidang Industri (Mekanik), dengan pengalaman diatas 15 tahun pada Audit Energi di Industri.

(5) **Rizal Budiman** (*certified Auditor Energi - BNSP*)

Sebagai Tenaga Ahli Mekanikal dengan sertifikasi Auditor Energi bidang Gedung/Bangunan, dengan pengalaman diatas 15 tahun pada Audit Energi di Industri dan Bangunan/Gedung.

Tenaga Operator dan Tenaga Administrasi untuk membantu pelaksanaan audit energi, terdiri dari 2 (dua) orang:

(1) **Asep Yoehana**

Sebagai Teknisi/Operator Peralatan Elektrikal dan Mekanikal, dengan pengalaman diatas 15 tahun.

(2) **Miskun**

Sebagai Tenaga Administrasi, dengan pengalaman diatas 10 tahun.

Tabel 1.3. Jadwal kegiatan mingguan

No.	Kegiatan	Minggu ke-										
		H1	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
1	Kick Off Meeting	H1										
2	Walktrough	H1										
3	Pengukuran (Survey)											
4	Verifikasi Data											
5	Analisis & Evaluasi Data											
6	Penyusunan Rekomendasi											
7	Submit Draft Laporan Audit Energi											
8	Presentasi Draft											
9	Revisi Draft											
10	Submit Laporan Akhir Audit Energi											

Tabel 1.4. Jadwal kegiatan detail

No.	Lokasi Area/ Objek Audit	% Progress		22-Mar		23-Mar		24-Mar		25-Mar		26-Mar	
		Target	Aktual	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm
1	Opening Meeting Survey	2.5	2.5	all									
2	Walktrough/ Observasi awal	2.5	2.5	all									
3	Pengumpulan Data Sekunder	15	15	Administratur Data Center									
4	Area Pembangkitan Unit 1	20	20										
	a. Pengukuran Listrik Equipment (SEU)												
	b. Pengukuran Thermal Equipment (SEU)												
	c. Pengukuran Mekanik Equipment (SEU)												
5	Area Sumur Produksi dan Injeksi	15	15										
	a. Pengukuran Listrik Sumur Produksi												
	b. Pengukuran Listrik Sumur Injeksi												
	c. Pengukuran Thermal & Mekanik												
6	Area WTP & Raw Water Pump Station	10	10										
	a. Pengukuran Listrik Pompa Raw Water												
	b. Pengukuran Thermal & Mekanik Pompa												
7	Area Bangunan Penunjang	15	15										
	a. Audit Energi Bangunan Power house												
	b. Audit Energi Bangunan Gd. Administrasi												
	c. Audit Energi Bangunan Gd. Basecamp												
	d. Audit Energi Bangunan Gd. Workshop												
	e. Audit Energi Bangunan Gd. Warehouse												
	f. Audit Energi Bangunan Gd. WTP												
	g. Audit Energi Bangunan Pos Sec. (11 titik)												
8	Audit Pengelolaan Energi (SME)	15	15										
9	Data Verification & Closing Meeting Survey	5	5										all
Total %-Progress :		100	100										

BAB 2

DESKRIPSI PLANT

2.1 Profil Perusahaan

PT. Geo Dipa Energi (Persero) didirikan pada 5 Juli 2002 sebagai anak perusahaan dari dua Badan Usaha Milik Negara (BUMN), yaitu PT. Pertamina (Persero) dan PT. PLN (Persero). Pada bulan Februari 2011, Pemerintah mengambil alih saham dari PT. Pertamina dan mulai Desember 2011 berubah status PT. Geo Dipa Energi ini menjadi badan usaha milik negara yang baru. Berikut adalah rekam jejak sejarah PT. Geo Dipa Energi (Persero):

- Didirikan sebagai perusahaan patungan (*joint venture*) dengan PLN untuk mengelola lapangan panas bumi Dieng dan Patuha, 2002.
- Mengoperasikan PLTP Dieng unit 1 (60 MW), 2002.
- Perjanjian jual beli tenaga listrik dengan PLN untuk area Dieng dan area Patuha masing-masing 400 MW yang dituangkan dalam bentuk *Energi Sales Contract* (ESC) (2004)
- Geo Dipa mendapat hak pengelolaan wilayah kuasa pertambangan (WKP) area Dieng dan area Patuha terhitung tanggal 4 September 2002
- Geo Dipa Energi ditetapkan sebagai BUMN melalui PP No. 62/2011
- Geo Dipa Energi mendapat penegasan sebagai pengelola WKP dataran tinggi Dieng, terhitung mulai tanggal 1 Januari

2017 melalui Peraturan Menteri ESDM No. 2192.K/30/MEM/2014.

- Mengoperasikan PLTP Patuha unit 1 (60 MW) tahun 2014.
- Mendapat penegasan sebagai pengelolaan secara penuh Area Patuha terhitung mulai Januari 2007 melalui peraturan menteri ESDM No.2192.K/30/MEM/2014.



Gambar 2.1. Gedung kantor administrasi PT Geo Dipa Energi (Persero) Patuha

Lokasi PLTP Patuha berlokasi di sekitar Gunung Patuha di daerah Ciwidey, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, yaitu sekitar 40 km di sebelah selatan kota Bandung, tepatnya di Desa Sugih Mukti, Kecamatan Pasir Jambu. Pembangkit ini mulai dibangun pada bulan Mei 2012 oleh PT. Geo Dipa Energi dan pada tahun 2014 PLTP Patuha Unit 1 yang berkapasitas 60 MW mulai beroperasi (COD). Daya listrik yang dihasilkan oleh PLTP Patuha unit 1 ini disalurkan ke sistem jaringan transmisi listrik JAMALI (Jawa-Madura-Bali) PLN.

Potensi energi panas bumi di area Patuha ini relatif besar dan diperkirakan mencapai 400 MW. Sebagai kelanjutan dari pembangunan Proyek Patuha Unit 1, pada saat ini PT. Geo Dipa Energi sedang melakukan pembangunan PLTP Patuha Unit 2 dengan kapasitas 55 MW. Unit 2 direncanakan COD pada tahun 2022. Selain itu, PLTP Patuha Unit 1 yang mempunyai luasan:

pembangkit 15 Ha, sumur 8 Ha ini, telah ditetapkan menjadi Objek Vital Nasional melalui Surat Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7100 K/93/MEM/2016 Tentang Penetapan Objek Vital Nasional Bidang Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tanggal 20 September 2016.

Operasi PLTP Patuha Unit-1 ditunjang oleh 10 (sepuluh) sumur produksi dan 2 sumur injeksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2. Peta lokasi PT Geo Dipa Energi (persero)
PLTP Unit-1 Patuha

2.2 Gambaran Fasilitas PLTP

Fasilitas pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) Patuha Unit 1 terdiri dari fasilitas utama dan fasilitas penunjang sebagai berikut :

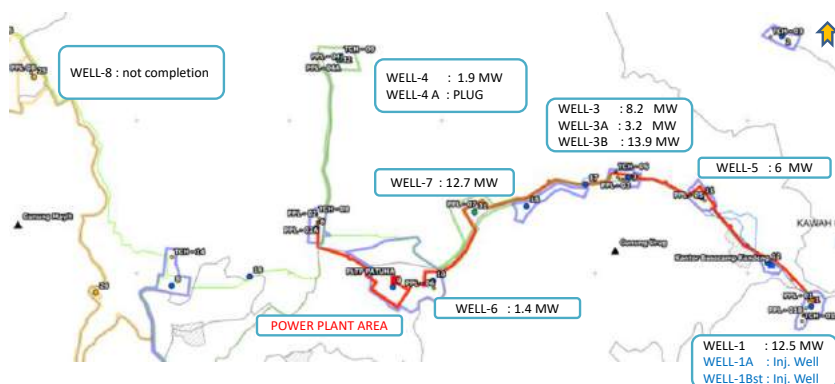
2.2.1 Fasilitas Utama

Fasilitas utama pembangkit listrik PLTP Patuha Unit 1 terdiri atas sistem dan peralatan sebagai berikut :

2.2.1.1 Well Pad

Fluida penggerak dari PLTP yang berupa uap panas (*steam*), yaitu merupakan uap air yang bertekanan tinggi sehingga mempunyai energi potensial dan kinetik yang besar. *Steam* ini dihasilkan dari

proses pemanasan terus menerus/ kontinyu terhadap air oleh magma yang terjadi di dalam bumi disekitar gunung berapi (*volcano*). Untuk mendapatkan sumber *steam* yang layak dilakukan survey geologi dan *seismic* di wilayah atau lokasi tertentu sesuai pengalaman dan pengetahuan pengeboran panas bumi. Hasil pengeboran yang berupa sumur rerata memiliki kedalaman 2000 meter lebih, dan dalam satu zona biasanya terdapat lebih dari satu sumur dengan jarak yang tidak terlalu jauh. Sumur-sumur ini di kelola tersendiri oleh masing-masing wilayah yang dikenal nama *Well Pad* dengan dibatasi pagar untuk keselamatan dan keamanan. Dalam satu lokasi bisa terdapat beberapa sumur yang berproduksi dan beberapa yang tidak. Sumur yang tidak berproduksi digunakan sebagai sumur injeksi untuk tempat memasukan kembali air dari *steam* yang telah berubah menjadi kondensat hasil dari konversi energi di pembangkitan. Gambar 3.3. memperlihatkan lokasi dan kode *Well Pad* beserta kapasitas produksi masing-masing sumuran di PLTP Patuha Unit-1.



Gambar 2.3. Peta lokasi *Well Pad* (Sumur injeksi dan sumur produksi)



Gambar 2.4. Salah satu lokasi *Well Pad* (Lokasi D – Well 3, 3A, 3B)

Steam yang dihasilkan di sumur produksi PLTP Unit-1 Patuha bisa dikategorikan jenis kering. Dengan sebagian besar menghasilkan *steam* kering maka tidak banyak peralatan yang membutuhkan energi listrik besar seperti pompa air untuk mengalirkan *brine* sehingga dapat dikatakan kebutuhan energi (listrik) pada *Well Pad* di PLTP Patuha Unit 1 termasuk kategori rendah (hemat). Energi listrik yang digunakan untuk pasokan energi di *Well Pad* diperoleh dari jaringan 6,3 kV dari Trafo Aux di pembangkit yang kemudian diturunkan ke tegangan 400 V di trafo masing-masing lokasi *Well Pad*.

PLTP Patuha Unit-1 memiliki 10 sumur produksi dan 2 sumur injeksi. Sumur produksi adalah sumur yang mengeluarkan uap panas dari perut bumi untuk diolah dan dimanfaatkan untuk memutar turbin uap, sedangkan sumur injeksi adalah sumur yang

3000 rpm. Turbin dan Generator merek Toshiba yang dioperasikan oleh PT Geo Dipa Energi di PLTP Patuha Unit-1 mempunyai kapasitas nominal (*design*) sebesar 60 MW (75 MVA). Pembangkit dioperasikan secara kontinyu 24 jam untuk memenuhi permintaan beban jaringan PLN JAMALI.

Kondensat hasil konversi energi *steam* di turbin uap kemudian masuk ke unit *condenser* dan kemudian ke unit *cooling tower*. Tujuan utama dari kedua unit ini adalah untuk mendinginkan dan mengkondensasikan *steam* keluaran dari turbin sehingga meningkatkan efisiensi pembangkit dan juga untuk memenuhi syarat atau peraturan tentang lingkungan hidup.

Unit kondensor mengoperasikan 2 *pompa hot well* (HWP) berkapasitas besar secara bergantian serta ke unit *cooling tower* yang mengoperasikan 5 unit *fan* dan 2 unit *pompa air pendingin*.

Untuk meningkatkan kinerja turbin juga dilakukan sistem vakum yang menggunakan *steam ejector* dan *liquid ring vacuum pump* (LRVP) yang dioperasikan secara bersamaan sesuai kebutuhan dan ketersediaan *steam*. Sistem vakum memiliki fungsi mengambil gas-gas yang tidak bisa terkondensasi (*non-condensable gas* atau NCG) seperti H₂S, NH₃ dan sedikit CO₂ dari komponen *steam* sekaligus menambah inersia dari turbin melalui bagian buangan (meningkatkan tingkat kevakuman pada *condenser*).

Fasilitas-fasilitas utama dari PLTP Patuha Unit-1, yaitu: *Demister*, *Turbin uap*, *Generator*, *Condensor*, *Cooling tower*, *Ejector & intercondensor*, dan *Liquid ring vacuum pump*. Secara garis besar fasilitas-fasilitas tersebut dapat dijelaskan berikut:

2.2.1.2.1 Demister

Demister (gambar 2.6.) adalah alat yang berbentuk tabung silinder yang di dalamnya terdapat kisi-kisi baja yang fungsinya untuk menghilangkan butir-butir air yang terbawa oleh uap dari sumur-sumur panas bumi setelah keluar dari alat pemisah

(*separator*). Dengan demikian uap yang akan masuk ke turbin sudah dalam keadaan kering. *Demister* yang digunakan memiliki design *steam flow rate* 120,53 kg/s dan *NCG flow rate* 3,616 kg/s, bekerja pada tekanan dan temperatur desain 13,5 barG dan 200°C.



Gambar 2.6. *Demister* PLTP Patuha Unit 1

2.2.1.2.2 Steam Turbine-Generator

Turbin uap adalah mesin penggerak yang mengubah energi uap menjadi tenaga mekanik yang kemudian digunakan untuk memutar generator (gambar 2.7). Di unit generator ini daya mekanik dikonversi menjadi daya listrik. Ada dua jenis turbin yang biasa digunakan pada PLTP, yaitu turbin tanpa kondensor (*Atmospheric Exhaust/Back Pressure Turbine*) dan turbin dengan kondensor (*Full condensing Turbine*). Turbin tanpa kondensor, uap keluar dari turbin dibuang langsung ke udara, sedangkan turbin dengan kondensor dilengkapi dengan kondensor (*condensing unit*) dimana uap yang keluar dari turbin dialirkan ke kondensor untuk dikondensasikan. Turbin yang digunakan di sini adalah jenis turbin kondensor (*full condensing turbine*), *single casing and single flow*, yang memiliki *rated output* 59,88 MW,

dengan kecepatan 3000 rpm, tekanan kerja 7,15 barG, temperatur 169,7°C dan *exhaust pressure* 98 mbarA.



Gambar 2.7. Turbin Uap dan Generator PLTP Patuha Unit 1

Generator yang terpasang mempunyai *rated output* 75 MVA, 15 kV, dengan arus 2887 A, *frequency* 50 Hz dan faktor daya 0.8.

2.2.1.2.3 Kondensor

Fungsi Kondensor (gambar 2.8) adalah untuk mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin dengan kondisi tekanan vakum. Uap bekas dari turbin masuk dari sisi atas kondensor, kemudian mengalami kondensasi akibat penyerapan panas oleh air pendingin yang diinjeksikan melalui *spray nozzle*. Ada dua jenis kondensor, yaitu *direct contact* atau *jet condenser* dan *surface condenser*. Pada *direct contact condenser*, uap yang keluar dari turbin langsung bersentuhan dengan fluida pendingin. Sedangkan pada *surface condenser*, uap yang keluar dari turbin tidak bersentuhan langsung dengan fluida pendingin. Proses pendinginannya terjadi pada alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang umumnya berupa *Shell and Tube Heat Exchanger*.

PLTP Patuha menggunakan kondensor *direct contact* dengan tekanan 98 mbarA dan temperatur 45,2°C dan *steam flow* 108,291 kg/s. Air pendingin yang digunakan pada kondensor memiliki *design flowrate* 2234,456 kg/s dengan temperatur air

masukan (*supply*) 20,4°C dan temperatur air keluaran (*return*) sebesar 42,4°C.



Gambar 2.8 Kondensor PLTP Patuha Unit 1

2.2.1.2.4 *Ejector*

Ejector berfungsi untuk membuat kondensor utama dalam keadaan vakum untuk mempermudah proses kondensasi uap dari turbin dan sekaligus meningkatkan efisiensi pembangkit (gambar 2.9). PLTP Patuha menggunakan 3 unit *ejector* dengan *load capacity* sebesar: 30%, 40% dan 60% dengan design motive *steam flow* 4,5, 6,1 dan 9,1 ton/h. *Steam ejector* yang digunakan di PLTP ini ditunjukkan pada dibawah ini.



Gambar 2.9 *Ejector* PLTP Patuha Uni-1

2.2.1.2.5 *Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP)*

Liquid ring vacuum pump (LRVP) digunakan sebagai *gas removal system* pada tekanan tingkat kedua mengikuti *steam ejector* tingkat pertama bila kapasitas fluida dari sumur yang masuk relatif rendah (gambar 2.10.). Dengan adanya peralatan ini kandungan NCG bisa dibuang sehingga kevakuman kondensor dapat dipertahankan. PLTP menggunakan 2 (dua) unit LRVP (A/B) dengan design tekanan *inlet* dan *outlet* adalah 28 kPa-A dan 82 kPa-A dengan kapasitas masing-masing 355,6 m³/menit uap. LRVP ini mempunyai kecepatan 270 rpm yang digerakkan oleh motor listrik dengan daya 590 kW. Saat survey 1 (satu) unit LRVP yang beroperasi dan unit lainnya dalam posisi *standby*.



Gambar 2.10. LRVP - PLTP Patuha Unit 1

2.2.1.2.6 *Intercondenser*

Fungsi *intercondenser* ini adalah untuk mengkondensasi uap dan memisahkan fasa gas (NCG) dengan fasa cair (konsendat), gambar 2.11. Prinsip kerja *intercondenser* seperti *flash tank*. Dengan demikian *intercondenser* juga menjaga tekanan kondensor utama pada kondisi vakum target. Kondensat yang dihasilkan oleh *intercondenser* ini kemudian dialirkan ke kondenser utama sedangkan NCG dialirkan menuju *cooling tower* untuk dibuang ke atmosfer.



Gambar 2.11. *Intercondensor* PLTP Patuha Unit 1

PLTP Patuha Unit 1 menggunakan 2 (dua) unit *intercondensor* dengan design laju aliran uap 497 dan 426 t/h, temperatur inlet 20,3 °C dan outlet 35,0 °C.

2.2.1.2.7 Cooling Tower

Cooling tower merupakan perangkat yang berfungsi sebagai unit pembuangan akhir yang berupa uap atau gas NCG (*Non Condensable Gas*) yang tidak berbahaya bagi lingkungan (gambar 2.12). *Cooling tower* juga berfungsi mendinginkan kembali air pendingin kondensator untuk disirkulasikan kembali pada pendinginan di kondensator (*Cooling water return*). *Cooling tower* yang digunakan adalah tipe *counter flow low pressure down spray* yang terdiri dari 5 (lima) *cell* dan tiap *cell* memiliki 2 (dua) buah *fan*.



Gambar 2.12 *Cooling tower* PLTP Patuha Unit 1

Design sirkulasi air sebesar $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan temperatur *air inlet* $42,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dan temperatur *air outlet* menurun menjadi $20,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2.1.2.8 Hot well pump

Hot well pump (HWP) adalah pompa yang berfungsi untuk mengalirkan kondensat dari unit kondensor ke unit *cooling tower* untuk di dinginkan sebelum digunakan kembali sebagai media pendinginan di unit kondensor (gambar 2.13).



Gambar 2.13 *Hot Well Pump* (HWP) PLTP Patuha Unit-1

2.2.1.2.9 Pompa Re-injeksi

Pompa Re-injeksi (*Reinjection Pump*) berfungsi sebagai pendorong kondensat dari *condesate-pond* menuju sumur injeksi. Ada 2 (dua) unit Pompa re-injeksi, dengan pola operasi 1 (satu) unit operasi dan 1 (satu) unit lainnya pada posisi *standby* (gambar 2.14.).



Gambar 2.14 *Re-injection pump* di PLTP Patuha Unit 1

2.2.1.2.10 *Emergency Diesel Generator (EDG)*

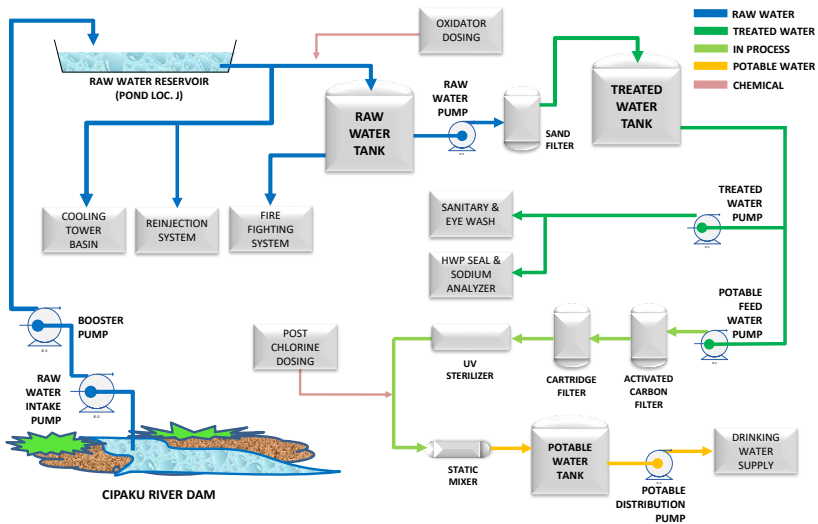
Emergency Diesel Generator (EDG) merupakan pembangkit listrik dengan penggerak diesel engine (bahan bakar solar), gambar 2.15. Digunakan saat pembangkit PLTP dalam posisi *blackout* atau *shutdown*. Pada posisi normal EDG ini dalam posisi *standby*. Kapasitas EDG yang ada di PLTP Patuha Unit 1 adalah sebesar 200 kW (250 kVA) merk Cummin.



Gambar 2.15. *Emergency Diesel Generator (EDG)* di PLTP Patuha Unit-1

2.2.1.3 Pengolahan Air (*Water Treatment*)

Diagram proses pengolahan air (*water treatment*) di area PLTP Patuha Unit 1 dapat dijelaskan sebagai berikut (gambar 2.16):



Gambar 2.16. Diagram alir proses pengolahan air (*water treatment*)
PLTP Patuha Unit-1

Lokasi sumber air *intake* berada di Cipaku (dibawah lokasi pembangkit/*power house*), sedangkan lokasi *raw water reservoir* terletak di Lokasi J yang berada di atas lokasi pembangkit/*power house*. Sedangkan unit proses pengolahan air (*raw water*) berada didalam komplek area pembangkit PLTP Patuha Unit 1.

Peralatan utama pengguna energi pada proses pengolahan air terdiri atas pompa-pompa, yaitu:

2.2.1.3.1 Raw Water Intake Pump & Booster Pump

Pompa *Raw Water Intake* berfungsi sebagai pompa yang menyedot air baku (*raw water*) dari dam yang berasal dari sungai Cipaku (gambar 2.17). Sedangkan Pompa *Booster* berfungsi sebagai pompa pendorong air baku hasil sedotan dari Pompa Raw Water Intake menuju *Water Pond Reservoir* yang berada di lokasi J (di elevasi atas dari Sunga Cipaku). Masing-masing pompa tersebut memiliki 2 (dua) unit pompa (A/B) yang beroperasi secara bergantian. Berikut ini gambar dokumentasi kedua pompa yang berada di Cipaku:



Gambar 2.17. Pompa *Raw Water Intake* dan *Booster* PLTP Patuha Unit-1

2.2.1.3.2 Raw Water Pump

Pompa *Raw Water* berfungsi sebagai pompa yang memindahkan air dari *raw water tank* menuju *Treated water tank* yang terlebih dulu melewati *Sand Filter*.

2.2.1.3.3 *Treated Water Pump*

Pompa *Treated Water* berfungsi sebagai pompa yang memindahkan air dari *treated water tank* menuju pengguna *treated water*, yaitu: *Sanitary & Eye Wash* dan *HWP Seal & Sodium Analyzer*.

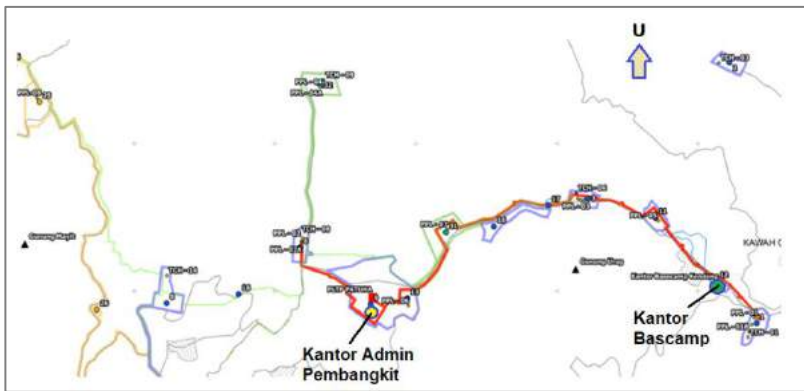
2.2.1.3.4 *Potable Feed Water Pump*

Pompa *Potable Feed Water* berfungsi sebagai pompa yang mendorong air dari *Treated Water tank* untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut sehingga memiliki kualitas air "*potable water*" yang digunakan di perkantoran.

2.2.2 Fasilitas Penunjang

Fasilitas penunjang di pembangkit listrik PLTP Patuha Unit 1 terdiri atas bangunan kantor administrasi *powerplant* (atas) dan bangunan administrasi umum (*basecamp* di bawah).

Gambar 2.19 memperlihatkan peta lokasi fasilitas penunjang berupa kantor admin *powerplant* dan kantor *basecamp*.



Gambar 2.18. Lokasi Bangunan Kantor admin pembangkit dan kantor *basecamp*

Gamnbar 2.19 menunjukkan kondisi bangunan kedua kantor tersebut.



Gambar 2.19. Bangunan Kantor admin pembangkit (atas) dan kantor *basecamp* (bawah)

BAB 3

DESKRIPSI STATUS ENERGI

3.1 Konsumsi Energi

Konsumsi energi pada pembangkit listrik (PLTP) Patuha dibedakan atas dua jenis, yaitu: energi primer dan energi final. Ada 2 jenis energi primer yang digunakan/dikonsumsi oleh PLTP Patuha, yaitu; *steam/thermal* dan *fuel oil*. Sedangkan energi final yang dikonsumsi oleh PLTU sebagai energi untuk pembangkitan adalah energi listrik, baik energi listrik dari *import* (jaringan distribusi PLN) maupun listrik sebagai penggunaan sendiri (*own use*) pada proses pembangkitan. Berikut ini penjelasan penggunaan energi primer dan final di PLTP Patuha:

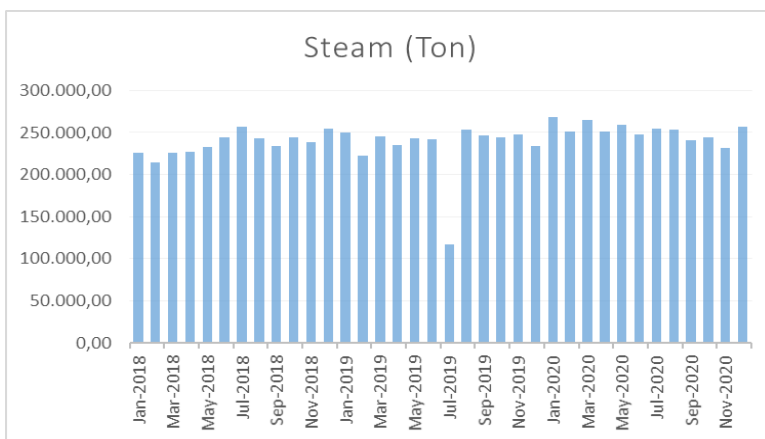
3.1.1 Energi Primer

Energi primer yang digunakan di PLTP Patuha adalah *steam* yang menghasilkan energi dalam bentuk panas, dimana *steam* ini dihasilkan dari proses pemanasan terus menerus/kontinyu terhadap air oleh magma yang terjadi di dalam bumi disekitar gunung berapi (*volcano*). Konsumsi *steam* selama periode 3 (tiga) tahun terakhir (tahun 2018-2020) dapat dilihat pada tabel 3.1 dan grafik gambar 3.1.

Tabel 3.1. Konsumsi *steam* tahun 2018-2020

Bulan	Steam (ton)		
	2018	2019	2020
Jan	226.100,11	250.034,56	268.369,68
Feb	214.913,75	221.986,31	251.644,74
Mar	226.338,15	245.247,62	264.412,08

Bulan	Steam (ton)		
	2018	2019	2020
Apr	227.354,12	235.522,48	250.867,51
May	233.016,74	242.872,73	259.663,42
Jun	243.757,73	242.257,09	247.216,60
Jul	256.842,96	116.887,48	254.132,25
Aug	243.225,30	253.331,87	253.270,16
Sep	234.454,37	246.572,08	240.968,42
Oct	244.742,74	244.448,80	243.763,72
Nov	239.070,77	247.799,00	231.104,14
Dec	254.170,96	233.567,07	257.060,74



Gambar 3.1. Pola konsumsi *steam* (aliran steam yang masuk turbin) periode tahun 2018-2020

Dari tabel 3.1 dan gambar 3.1 terlihat bahwa penggunaan *steam* cenderung berfluktuasi antara 200.000 ton - 269.000 ton, pada saat *Planned Outage (annual shutdown)*, terlihat konsumsi *steam* pada volume minimum (Juli 2019). Total konsumsi *steam* sebagai sumber energi primer di PLTP Patuha pada periode 2018-2020 rata-rata adalah sebesar 2.882.329 ton per tahun.

Selain *steam* dari panas bumi sebagai energi primer, PLTP Patuha juga mengkonsumsi *fuel oil* (bahan bakar minyak) pada saat *start-up* setelah *shutdown* dan untuk penggunaan *supporting facilities*. Konsumsi *fuel oil* rata-rata pertahun mencapai 2400 Liter.

3.1.2 Energi Final

Jenis energi final yang digunakan/dikonsumsi di PLTP Patuha adalah listrik. Analisis data dilakukan berdasarkan data tahunan selama 3 (tiga) tahun terakhir. Dari data historis tahun 2018 - 2020 diperoleh pola listrik penggunaan sendiri/*house load ratio* dan listrik *import* (PLN) sekitar 4,81% - 5,97% dari produksi listrik *gross*. Jika produksi listrik rendah maka porsi *auxiliary* menjadi relatif besar. Gambar 3.2 dan tabel 3.2 menunjukkan konsumsi energi listrik (*own used*) untuk periode tahun 2018-2020.



Gambar 3.2. Pola konsumsi listrik (*own used*) periode tahun 2018-2020

Dari tabel dan grafik konsumsi listrik terlihat bahwa penggunaan listrik cenderung berfluktuasi antara 1200 - 2300 MWh per bulannya, dan pada saat *start-up* setelah *Planned Outage (annual shutdown)*, terlihat konsumsi listrik pada level minimum (Juli 2019). Total konsumsi listrik sebagai sumber energi final (*own used*) di PLTP Patuha dalam 3 tahun terakhir (2018-2020) rata-rata adalah sebesar 24.229 MWh per tahun dengan prosentase

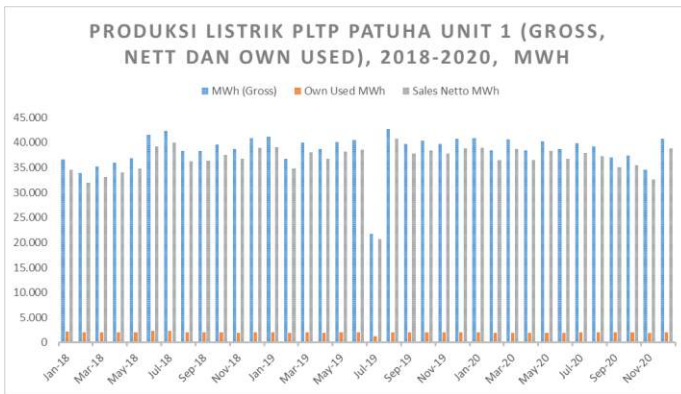
rata-rata sebesar 5,26% dari total konsumsi listrik untuk pembangkitan

Tabel 1.2. Konsumsi energi listrik (*own used*) tahun 2018-2020

Bulan/Tahun	Own Used	Import (PLN)	Total
	MWh	MWh	MWh
Jan-18	2.125	25,65	2.151
Feb-18	1.996		1.996
Mar-18	2.066	29,92	2.096
Apr-18	2.030	2,27	2.032
May-18	2.123		2.123
Jun-18	2.327		2.327
Jul-18	2.370		2.370
Aug-18	2.084		2.084
Sep-18	2.004	3,74	2.008
Oct-18	2.082		2.082
Nov-18	1.989		1.989
Dec-18	2.053		2.053
Jan-19	2.045		2.045
Feb-19	1.867		1.867
Mar-19	2.053		2.053
Apr-19	1.985		1.985
May-19	2.046	3,36	2.050
Jun-19	2.000		2.000
Jul-19	1.148	75,32	1.224
Aug-19	2.055		2.055
Sep-19	2.000		2.000
Oct-19	2.071		2.071
Nov-19	1.998		1.998
Dec-19	2.045		2.045
Jan-20	2.047		2.047
Feb-20	1.877		1.877
Mar-20	1.992		1.992
Apr-20	1.919	3,99	1.923
May-20	1.995		1.995
Jun-20	1.991		1.991
Jul-20	2.036	4,49	2.040
Aug-20	2.056		2.056
Sep-20	2.007		2.007
Oct-20	2.050		2.050
Nov-20	1.964		1.964
Dec-20	2.043		2.043

3.2 Produksi Listrik

Pembangkit listrik PLTP Patuha sudah tentu produk utamanya adalah energi listrik. Sehingga grafik produksi pembangkitan diperoleh dari *nett sales* listrik yang didistribusikan ke jaringan 150kV PLN. Gambar 3.3 dan tabel 3.3 memperlihatkan perbandingan antara produksi *gross* dan produksi *nett* serta pemakaian sendiri listrik di PLTP Patuha selama periode 3 tahun terakhir (2018 – 2020) :



Gambar 3.3. Perbandingan produksi listrik *gross*, *nett* dan *own used* tahun 2018-2020

Dengan pengecualian data bulan Juli 2019, karena adanya *periodic maintenance*, dari data historis selama 3 tahun (2018-2020) diperoleh pola produksi listrik *gross* yang berfluktuasi sekira 33.000 – 42.000 MWh, demikian juga untuk pola *own used/house load ratio* sekira 4,81% – 5,89% dari produksi listrik *gross*.

Sebagaimana terlihat pada tabel 3.3, produksi listrik tertinggi terjadi pada bulan Agustus 2019 yaitu *gross* 42.714 MWh dan *net* 40.700 MWh dengan porsi *auxiliary (own used)* sekitar 4,81% dari produksi *gross*. Sedangkan produksi listrik terendah terjadi pada bulan Februari 2018 dengan produksi *gross* 33.895 MWh dan *nett* 31.951 MWh dengan porsi *auxiliary (own used)* sekira 5,89% dari produksi *gross*. Rerata produksi listrik *gross* tiap bulannya selama

periode 2018-2020 sekitar 38.973 MWh dengan produksi total rata-rata pertahun sebesar 461.000 MWh.

Tabel 3.3. Produksi dan *own used/house load ratio* tahun 2018-2020

Bulan/Tahun	Produksi Listrik PLTP Patuha Unit 1			House Load Ratio (%)
	MWh (Gross)	Own Used MWh	Sales Netto MWh	
Jan-18	36.642	2.151	34.555	5,87%
Feb-18	33.895	1.996	31.951	5,89%
Mar-18	35.113	2.096	33.139	5,97%
Apr-18	35.917	2.032	33.952	5,66%
May-18	36.804	2.123	34.735	5,77%
Jun-18	41.500	2.327	39.228	5,61%
Jul-18	42.253	2.370	39.941	5,61%
Aug-18	38.277	2.084	36.250	5,44%
Sep-18	38.289	2.008	36.342	5,24%
Oct-18	39.555	2.082	37.538	5,26%
Nov-18	38.706	1.989	36.767	5,14%
Dec-18	40.868	2.053	38.873	5,02%
Jan-19	41.082	2.045	39.087	4,98%
Feb-19	36.667	1.867	34.841	5,09%
Mar-19	39.987	2.053	37.988	5,13%
Apr-19	38.658	1.985	36.726	5,13%
May-19	40.109	2.050	38.118	5,11%
Jun-19	40.503	2.000	38.550	4,94%
Jul-19	21.703	1.224	20.634	5,64%
Aug-19	42.714	2.055	40.700	4,81%
Sep-19	39.743	2.000	37.790	5,03%
Oct-19	40.408	2.071	38.385	5,12%
Nov-19	39.706	1.998	37.759	5,03%
Dec-19	40.793	2.045	38.819	5,01%
Jan-20	40.866	2.047	38.879	5,01%
Feb-20	38.356	1.877	36.477	4,89%
Mar-20	40.661	1.992	38.661	4,90%
Apr-20	38.389	1.923	36.482	5,01%
May-20	40.254	1.995	38.271	4,96%
Jun-20	38.675	1.991	36.754	5,15%
Jul-20	39.815	2.040	37.851	5,12%
Aug-20	39.197	2.056	37.208	5,25%
Sep-20	36.936	2.007	34.995	5,43%
Oct-20	37.395	2.050	35.431	5,48%
Nov-20	34.526	1.964	32.646	5,69%
Dec-20	40.791	2.043	38.823	5,01%
Rata-rata				5,26%
Minimal				4,81%
Maximal				5,97%

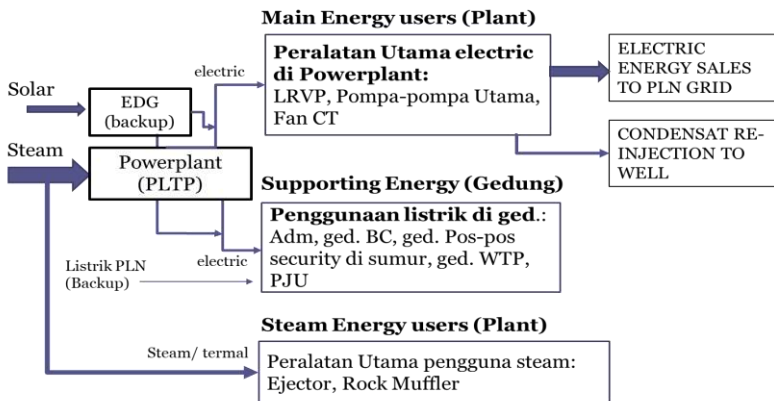
Tabel 3.4 menunjukkan secara statistik perbandingan produksi *gross* dan *own used* PLTP Patuha periode 2018 - 2020:

Tabel 3.4. Statistik produksi listrik dan *own used* (2018 – 2020)

Parameter	MWh (Gross)	Own Used MWh	Sales Netto MWh
Minimum	21.703	1.224	20.634
Maksimum	42.714	2.370	40.700
Rerata	38.493	2.019	36.532
Deviasi	3572	166	3427

3.3 Distribusi Energi

Distribusi energi di PLTP Patuha dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian besar yaitu penggunaan energi pada *Generator System (Power Plant)*, peralatan utama di *power plant* (LRVP, Pompa-pompa Utama, Fan CT) dan *Supporting/Building System* (Administrasi, gedung BC, gedung pos *security* di sumur, gedung WTP, dan PJU). Pada perhitungan distribusi energi, diperhitungkan energi dari *steam/thermal* dan listrik pemakaian sendiri yang digunakan baik di proses (*plant*) maupun di energi penunjang.



Gambar 3.4 Distribusi Penggunaan Energi

Gambar 3.4. memperlihatkan skema distribusi penggunaan energi di PLTP Patuha), terlihat bahwa sumber utama energi adalah *steam/thermal* dan solar untuk pembangkitan listrik dan peralatan pengguna utama *steam*.

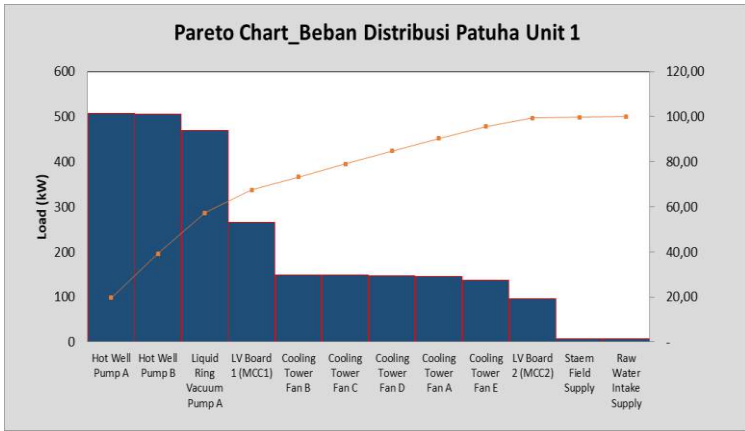
3.4 Significant Energy Uses (SEU)

Berdasarkan data hasil pengukuran dan pengamatan di panel/DCS saat dilakukan survey audit energi tanggal 22 – 25 Maret 2021, diperoleh klasifikasi peralatan pengguna energi utama – *Significant Energy Uses* (SEUs) sebesar 79,7% dari *auxiliary equipment* di PLTP Patuha. Prosentasi total daya dari peralatan-peralatan (tabel 3.5 dan gambar 3.5) mencapai lebih dari 70% total energi yang dikonsumsi di PLTP Patuha, sehingga dapat dikatakan **valid** bahwa peralatan-peralatan tersebut merupakan kategori SEU's.

Tabel 3.5. Peralatan Pengguna Energi di PLTP Patuha

Equipment	Volt	Current (A)	Power (kW)	MWh/bln	%SEUs
HOT WELL PUMP (A)	6000	56	507	365,04	18,27%
HOT WELL PUMP (B)	6000	56	506	364,32	18,23%
LIQUID RING VACUUM PUMP (A)	6000	54	470	338,40	16,94%
COOLING TOWER FAN (A)	6000	16	145	104,40	5,23%
COOLING TOWER FAN (B)	6000	16	149	107,28	5,37%
COOLING TOWER FAN (C)	6000	16	149	107,28	5,37%
COOLING TOWER FAN (D)	6000	16	147	105,84	5,30%
COOLING TOWER FAN (E)	6000	15	138	99,36	4,97%
Total Konsumsi Own Used (MWh/bln), hasil Audit:				1592	
Rerata Konsumsi (data 1 tahun terakhir) (Tahun 2020)				1998	
% Energi Konsumsi Peralatan SEUs:				79,7%	
*) Hasil pengukuran dan observasi per tanggal 23 Maret 2021					

Daftar SEU's pada tabel 3.5 dapat dipakai sebagai acuan pada kegiatan audit energi di PLTP Patuha. Disarankan agar dapat melakukan evaluasi unjuk kerja pada peralatan yang termasuk dalam SEU secara berkala (*monitoring*) sehingga diharapkan ada potensi penghematan energi di tahun-tahun mendatang.



Gambar 3.5. Grafik pareto *auxiliary power* di PLTP Patuha

3.5 Unjuk Kerja Energi

Unjuk kerja energi adalah suatu nilai yang menggambarkan tingkat penggunaan energi terhadap keluaran produk per unit satuan. Sehingga unjuk kerja energi dapat memberikan arti atau menunjukkan tingkat efisiensi suatu proses atau sistem produksi. Unjuk kerja energi dinyatakan dalam istilah Intensitas Konsumsi Energi (IKE).

3.5.1 Intensitas Energi

Untuk mengetahui kinerja energi digunakan perhitungan intensitas energi. Intensitas energi adalah salah satu cara untuk mengetahui kinerja pemanfaatan energi terhadap *output*-nya. Intensitas energi pada sektor pembangkit dapat dibagi menjadi 2 (dua) katagori, yaitu Intensitas energi pada kegiatan proses (*plant*) dan intensitas energi pada kegiatan penunjang. Intensitas energi pada kegiatan proses produksi di *plant* dihitung berdasarkan rasio konsumsi energi pada kegiatan produksi dengan produksi total. Sedangkan intensitas energi pada kegiatan penunjang diperoleh dari rasio konsumsi energi pada kegiatan penunjang terhadap luas *area* (m²) fasilitas penunjang tersebut (Perhitungan Intensitas

Energi penunjang akan dibahas pada Bab Evaluasi Fasilitas Penunjang).

Pola penghitungan Intesitas Energi pada proses produksi listrik di PLTP Patuha dapat ditinjau menurut perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Konsumsi Energi Listrik Own Used (Gjoule)}}{\text{Produksi Listrik (Nett) (Gjoule)}}$$

Tabel 3.6 menyajikan hasil perhitungan Intensitas Energi (dalam unit GJ/GJ) di PLTP Patuha sesuai data konsumsi energi dan produksi yang tersedia.

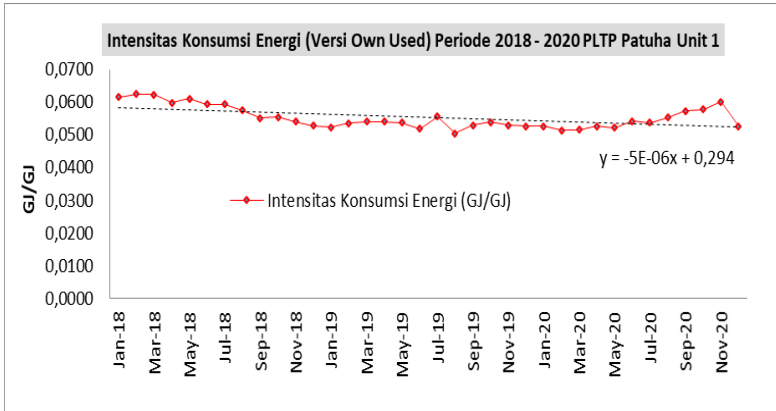
Tabel 3.6 Produksi (Nett), konsumsi *own used* dan intensitas energi

Bulan	2018			2019			2020		
	Penjualan (Nett)	Own Used	IKE	Penjualan (Nett)	Own Used	IKE	Penjualan (Nett)	Own Used	IKE
	GJ	GJ	GJ/GJ	GJ	GJ	GJ/GJ	GJ	GJ	GJ/GJ
Jan	124399,21	7742,72	0,0622	140712,52	7360,81	0,0523	139965,41	7368,37	0,0526
Feb	115025,37	7186,68	0,0625	125426,30	6720,88	0,0536	131318,45	6755,60	0,0514
Mar	119301,79	7545,25	0,0632	136755,35	7390,51	0,0540	139178,66	7170,57	0,0515
Apr	122225,47	7315,73	0,0599	132213,09	7144,24	0,0540	131334,81	6921,89	0,0527
May	125045,86	7641,83	0,0611	137225,30	7378,37	0,0538	137775,55	7182,94	0,0521
Jun	141219,21	8377,31	0,0593	138779,97	7200,29	0,0519	132314,82	7168,03	0,0542
Jul	143786,89	8530,45	0,0593	74284,09	4405,09	0,0593	136264,20	7343,96	0,0539
Aug	130498,91	7501,10	0,0575	146520,49	7397,86	0,0505	133949,03	7402,18	0,0553
Sep	130831,81	7227,03	0,0552	136043,86	7199,93	0,0529	125981,06	7226,82	0,0574
Oct	135135,54	7496,32	0,0555	138187,31	7454,99	0,0539	127550,00	7378,78	0,0579
Nov	132360,94	7161,91	0,0541	135932,23	7193,88	0,0529	117525,87	7071,59	0,0602
Dec	139943,58	7390,44	0,0528	139746,65	7363,69	0,0527	139763,27	7353,72	0,0526
Total	1559774,56	91116,77		1581827,16	84210,52		1592921,14	86344,44	
Max	143786,89	8530,45	0,0632	146520,49	7454,99	0,0593	139965,41	7402,18	0,0602
Min	115025,37	7161,91	0,0528	74284,09	4405,09	0,0505	117525,87	6755,60	0,0514
Rerata	129981,21	7593,06	0,0586	131818,93	7017,54	0,0535	132743,43	7195,37	0,0543
Perubahan						-8,7%			1,5%

Konversi: 1 kWh = 0,0036 GJ

Pada tabel 3.6 menunjukkan intensitas energi rerata tahun 2018 adalah 0,0586 GJ/GJ, tahun 2019 dan 2020 turun menjadi 0,0535 GJ/GJ dan 0,0543 GJ/GJ.

Gambar 3.6 menunjukkan grafik intensitas konsumsi energi sepanjang periode 2018-2020:



Gambar 3.6 Intensitas energi berdasarkan konsumsi energi *own used*

Secara total, dilihat dari konsumsi energi *own used*, kecenderungan intensitas energi dari tahun 2018 sampai dengan 2019 mengalami penurunan rata-rata mencapai 8,7%. Kemudian pada 2019 ke 2020 mengalami kenaikan sebesar 1,5%.

3.5.2 Kinerja Pembangkit

Data yang disajikan pada tabel-3.7 memperlihatkan kinerja pembangkit berdasarkan produksi/penjualan (*nett*), konsumsi *steam* dan injeksi *steam* pada kegiatan pembangkitan listrik di PLTP Patuha pada periode 2018 – 2020.

Pada tabel 3.7. ditunjukkan kinerja pembangkit rerata tahun 2018 sebesar 0,018 GJ/kWh, tahun 2019 turun menjadi 0,017 GJ/kWh. Sedangkan intensitas energi pada tahun 2020 mengalami kenaikan menjadi rerata sebesar 0,019 GJ/kWh.

Evaluasi Pemanfaatan Energi
PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha

Tabel 3.7 Produksi/penjualan (*nett*), konsumsi steam dan intensitas kinerja pembangkit

Bulan	Steam (Flow in Turbin)			Injeksi (kondensat)			Total Energi di Konsumsi	Penjualan (Nett)	Efisiensi Pembangkit
	Ton	Kg	GJ	Ton	Kg	GJ			
Jan-2018	226.100,11	226.100.110,90	625.619,01	62.641,30	62.641.300	12.589,65	613.029,36	34.555.336,00	0,018
Feb-2018	214.913,75	214.913.751,00	594.666,35	68.913,30	68.913.300	13.850,20	580.816,15	31.951.491,00	0,018
Mar-2018	226.338,15	226.338.147,36	626.277,65	88.220,99	88.220.990	17.730,65	608.547,00	33.139.385,00	0,018
Apr-2018	227.354,12	227.354.122,00	629.088,86	76.545,10	76.545.100	15.384,03	613.704,82	33.951.519,00	0,018
May-2018	233.016,74	233.016.735,37	644.757,31	56.208,10	56.208.100	11.296,70	633.460,60	34.734.960,00	0,018
Jun-2018	243.757,73	243.757.733,00	674.477,65	82.027,20	82.027.200	16.485,83	657.991,82	39.227.557,00	0,017
Jul-2018	256.842,96	256.842.960,00	710.684,47	83.398,35	83.398.350	16.761,40	693.923,07	39.940.803,00	0,017
Aug-2018	243.225,30	243.225.303,00	673.004,41	64.429,41	64.429.410	12.949,02	660.055,39	36.249.696,00	0,018
Sep-2018	234.454,37	234.454.370,00	648.735,24	77.424,32	77.424.320	15.560,74	633.174,50	36.342.169,00	0,017
Oct-2018	244.742,74	244.742.742,00	677.203,17	88.761,68	88.761.680	17.839,32	659.363,84	37.537.650,00	0,018
Nov-2018	239.070,77	239.070.766,00	661.508,81	76.521,84	76.521.840	15.379,36	646.129,45	36.766.927,00	0,018
Dec-2018	254.170,96	254.170.961,00	703.291,05	73.582,23	73.582.230	14.788,56	688.502,49	38.873.217,00	0,018
Jan-2019	250.034,56	250.034.563,00	691.845,64	80.250,93	80.250.930	16.128,83	675.716,80	39.086.812,00	0,017
Feb-2019	221.986,31	221.986.311,00	614.236,12	85.400,00	85.400.000	17.163,69	597.072,43	34.840.638,00	0,017
Mar-2019	245.247,62	245.247.617,00	678.600,16	82.885,00	82.885.000	16.658,23	661.941,93	37.987.596,00	0,017
Apr-2019	235.522,48	235.522.481,00	651.690,70	83.848,35	83.848.350	16.851,84	634.838,86	36.725.859,00	0,017
May-2019	242.872,73	242.872.731,12	672.028,85	86.828,41	86.828.410	17.450,77	654.578,07	38.118.140,00	0,017
Jun-2019	242.257,09	242.257.094,00	670.325,38	81.196,56	81.196.560	16.318,88	654.006,49	38.549.993,00	0,017
Jul-2019	116.887,48	116.887.476,00	323.427,65	40.230,72	40.230.720	8.085,57	315.342,08	20.634.470,00	0,015
Aug-2019	253.331,87	253.331.871,00	700.969,29	88.560,74	88.560.740	17.798,94	683.170,35	40.700.135,00	0,017
Sep-2019	246.572,08	246.572.076,00	682.264,93	88.013,52	88.013.520	17.688,96	664.575,98	37.789.961,00	0,018
Oct-2019	244.448,80	244.448.804,00	676.389,84	80.202,96	80.202.960	16.119,19	660.270,65	38.385.363,00	0,017
Nov-2019	247.799,00	247.799.002,00	685.659,84	82.146,96	82.146.960	16.509,90	669.149,94	37.758.952,00	0,018
Dec-2019	233.567,07	233.567.074,76	646.280,10	90.917,55	90.917.550	18.272,61	628.007,49	38.818.515,00	0,016
Jan-2020	268.369,68	268.369.678,00	742.578,90	82.977,50	82.977.500	16.676,82	725.902,08	38.879.281,00	0,019
Feb-2020	251.644,74	251.644.738,79	696.300,99	85.670,20	85.670.200	17.218,00	679.083,00	36.477.346,00	0,019
Mar-2020	264.412,08	264.412.078,13	731.628,22	86.868,00	86.868.000	17.458,73	714.169,49	38.660.740,00	0,018
Apr-2020	250.867,51	250.867.514,69	694.150,41	79.414,40	79.414.400	15.960,71	678.189,71	36.481.893,00	0,019
May-2020	259.663,42	259.663.415,52	718.488,67	83.819,30	83.819.300	16.846,00	701.642,67	38.270.985,00	0,018
Jun-2020	247.216,60	247.216.598,00	684.048,33	81.259,20	81.259.200	16.331,47	667.716,85	36.754.117,00	0,018
Jul-2020	254.132,25	254.132.251,81	703.183,94	82.262,40	82.262.400	16.533,10	686.650,84	37.851.167,00	0,018
Aug-2020	253.270,16	253.270.163,00	700.798,54	67.873,34	67.873.340	13.641,18	687.157,36	37.208.065,00	0,018
Sep-2020	240.968,42	240.968.421,09	666.759,62	64.237,62	64.237.620	12.910,48	653.849,14	34.994.740,00	0,019
Oct-2020	243.763,72	243.763.717,00	674.494,20	32.426,00	32.426.000	6.516,98	667.977,23	35.430.555,00	0,019
Nov-2020	231.104,14	231.104.135,00	639.465,14	7.776,00	7.776.000	1.562,82	637.902,32	32.646.076,00	0,020
Dec-2020	257.060,74	257.060.741,00	711.287,07	80.086,40	80.086.400	16.095,76	695.191,31	38.823.130,00	0,018
Rata - Rata 2018									0,018
Rata - Rata 2019									0,017
Rata - Rata 2020									0,019

Note:

Entalphi Steam (Sat. Vap Temp 168,9 oC):

2767,53

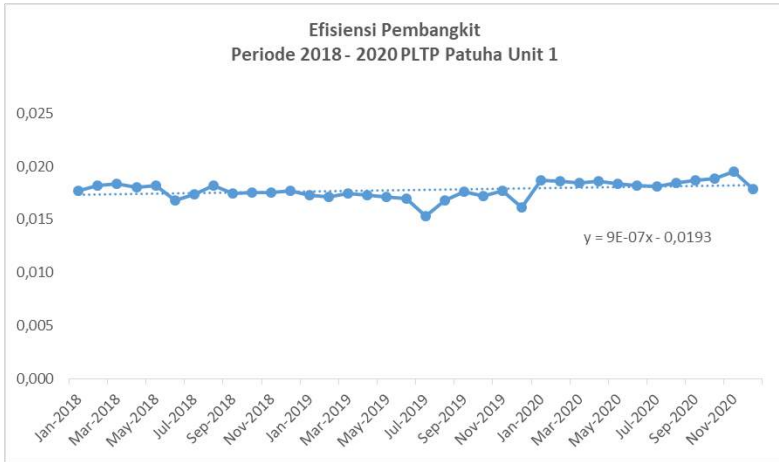
KJ/Kg → GJ

Entalphi Kondensat (Sat. Liq Temp 48 oC):

200,98

KJ/Kg → GJ

Gambar 3.7 memperlihatkan grafik intensitas kinerja pembangkit sepanjang periode tahun 2018-2020.



Gambar 3.7 Intensitas kinerja pembangkit PLTP Patuha periode 2018-2020

Kecenderungan intensitas kinerja pembangkitan dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2020 mengalami kenaikan rata-rata mencapai 0,1% perbulan.

Perhitungan efisiensi pembangkit harian selama Audit atau *Nett Plant Heat rate* (NPHR) lebih detail akan dibahas pada Bab 4 tentang analisis evaluasi *turbine generator*.

3.5.3 Benchmarking

Untuk melakukan benchmarking kinerja energi di suatu pembangkit, maka acuan yang dipakai adalah kinerja dari unit pembangkit sejenis. Secara garis besar, nilai performa energi suatu pembangkit akan dipengaruhi oleh:

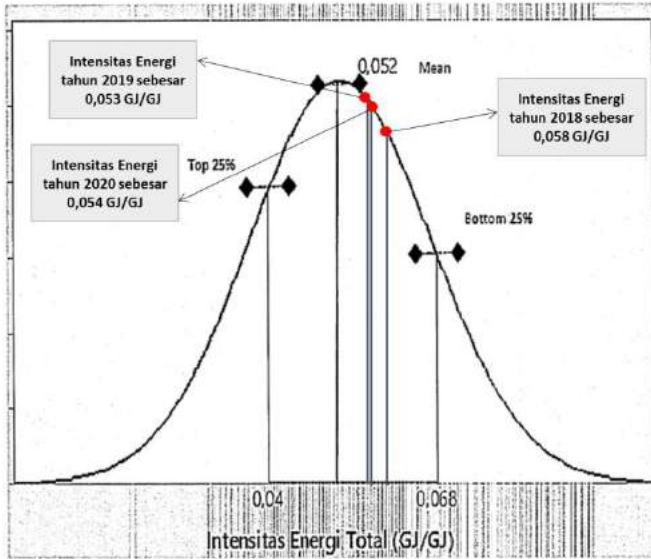
- Jenis bahan bakar yang dikonsumsi. Semakin rendah kualitas bahan bakar, maka kecenderungan semakin boros penggunaan energinya;

- Teknologi proses yang digunakan termasuk teknologi terbaru yang memiliki design proses dengan konsumsi energi yang efisien atau teknologi lama yang masih boros;
- Umur pembangkit, semakin lama umur pembangkit maka terjadi kecenderungan penurunan performa energi karena beberapa peralatan pengguna energi utama (SEU's) sudah mengalami *de-rating* (penurunan efisiensi);
- Kapasitas operasi pembangkit, semakin tinggi kapasitas operasi pembangkit mendekati angka *design* maksimum (%MCR), maka efisiensi peralatan pengguna energi akan semakin efisien sehingga intensitas energi akan menurun;
- *Improvement* (perbaikan) efisiensi pembangkit, seiring *improvement* yang dilakukan oleh pembangkit maka akan meningkatkan efisiensi konsumsi energi.

3.5.3.1 Benchmarking Intensitas Energi berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan

Perhitungan nilai IKE di PLTP Patuha seperti telah diuraikan diatas, memberikan nilai Intensitas yang relatif mengalami kenaikan pada periode 2019- ke tahun 2020. Nilai Intensitas energi tersebut, jika di bandingkan dengan *benchmark* sesuai dengan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan Nomor: P.19/PPKL/SET/KUM.1/10/2018 tentang Benchmarking Sektor Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, maka nilai intensitas energi di PLTP Patuha masuk kedalam nilai rata-rata Intensitas energi Industri PLTP diseluruh indonesia (posisi peringkat 50% rata-rata), seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.8.

ACUAN DATA BENCHMARKING INTENSITAS ENERGI



Gambar 3.8 Benchmarking Intensitas energi berdasarkan Peraturan DJPPL KLHK

3.5.3.2 **Benchmarking berdasarkan House load Ratio (%) Pada Tingkat Nasional**

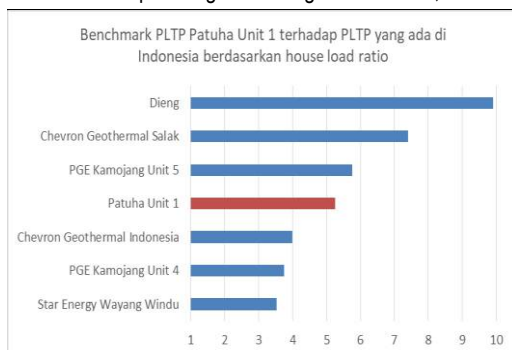
Tabel 3.8 memperlihatkan *benchmarking* PLTP Patuha Unit 1 berdasarkan *House Load Ratio (%)* terhadap PLTP yang ada di Indonesia.

3.5.3.3 **Benchmarking berdasarkan House load Ratio (%) Pada Tingkat International**

Tabel 3.9 memperlihatkan *benchmarking* PLTP Patuha Unit 1 berdasarkan *House Load Ratio (%)* terhadap PLTP yang ada di dunia (*International*).

Tabel 3.8 *Benchmarking* PLTP Patuha Unit 1 berdasarkan *House Load Ratio* (%) Nasional

NO	Nama PLTP	House Load Ratio (%)
1	Star Energy Wayang Windu	3,53
2	PGE Kamojang Unit 4	3,75
3	Chevron Geothermal Indonesia	4,00
4	Patuha Unit 1	5,26
5	PGE Kamojang Unit 5	5,76
6	Star Energy G. Salak	7,40
7	Geo Dipa Energi Unit Dieng	9,90



Dari *benchmarking* yang dilakukan baik skala nasional maupun international, PLTP Patuha Unit 1 ada pada posisi *middle* (posisi menengah), hal ini juga sejalan sebagaimana terlihat pada *benchmarking* intensitas energi yang dikeluarkan oleh Direktur Jenderal Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan bahwa PLTP Patuha unit 1 ada pada peringkat 50% rata-rata.

3.5.4 Normalisasi (Regresi)

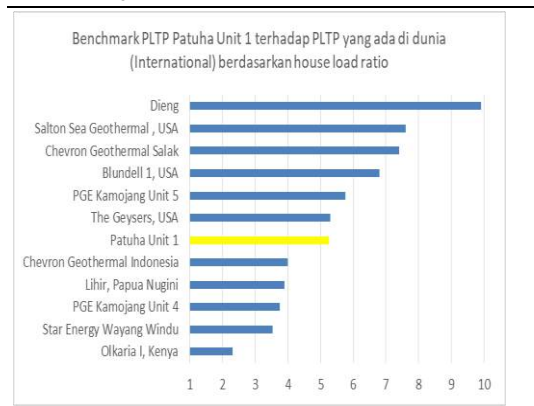
Normalisasi dengan metode regresi adalah salah satu cara untuk membandingkan kinerja energi antara dua periode di mana terdapat variabel yang relevan mempengaruhi kinerja energi. Diperlukan perbandingan yang benar (normalisasi) untuk

memungkinkan kesamaan perbandingan kinerja energi antar periode.

Pemodelan sistem yang lebih kompleks biasanya ditemukan dalam industri atau bangunan di mana hubungan antara kinerja energi dan variable yang relevan bersifat *linier*.

Tabel 3.9 *Benchmarking* PLTP Patuha Unit-1 berdasarkan *House Load Ratio* (%) International

NO	Nama PLTP	House Load Ratio (%)
1	Olkaria I, Kenya	2.30
2	Star Energy Wayang Windu	3.53
3	PGE Kamojang Unit 4	3,75
4	Lihir, Papua Nugini	3.90
5	Chevron Geothermal Indonesia	4.00
6	Patuha Unit 1	5,26
7	The Geysers, USA	5.30
8	PGE Kamojang Unit-5	5,76
9	Blundell 1, USA	6.80
10	Star Energy G. Salak	7.40
11	Salton Sea Geothermal , USA	7.60
12	Dieng	9.90



Dalam metode normalisasi perlu ditentukan baseline konsumsi energi pada periode waktu tertentu. *Baseline* konsumsi energi terhadap produksi digunakan sebagai dasar evaluasi dan targetting pengelolaan energi di seluruh proses produksi.

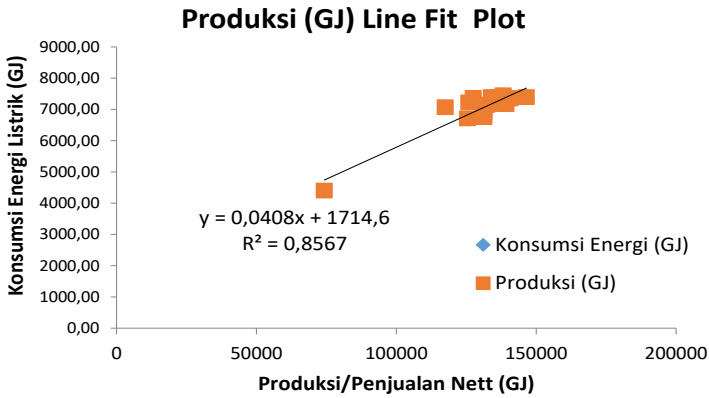
Berdasarkan data dan informasi yang diperoleh, maka diuji *baseline* tahun 2019-2020, dengan asumsi tahun tersebut adalah bulan dan tahun dalam kondisi normal.

Faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi konsumsi energi adalah jumlah produksi/penjualan *nett* listrik.

Dari data tersebut maka didapatkan nilai regresi korelasi antara konsumsi energi (energi listrik *own used*) dengan jumlah produksi/penjualan listrik *nett* seperti yang disajikan pada tabel 3.10.

Tabel 3.10. Data konsumsi listrik dan produksi tahun 2019 – Juni 2020

Bulan	y	x
	Konsumsi Energi Listrik (GJ)	Produksi (GJ)
Jan-19	7360,81	140712,52
Feb-19	6720,88	125426,30
Mar-19	7390,51	136755,35
Apr-19	7144,24	132213,09
May-19	7378,37	137225,30
Jun-19	7200,29	138779,97
Jul-19	4405,09	74284,09
Aug-19	7397,86	146520,49
Sep-19	7199,93	136043,86
Oct-19	7454,99	138187,31
Nov-19	7193,88	135932,23
Dec-19	7363,69	139746,65
Jan-20	7368,37	139965,41
Feb-20	6755,60	131318,45
Mar-20	7170,57	139178,66
Apr-20	6921,89	131334,81
May-20	7182,94	137775,55
Jun-20	7168,03	132314,82
Jul-20	7343,96	136264,20
Aug-20	7402,18	133949,03
Sep-20	7226,82	125981,06
Oct-20	7378,78	127550,00
Nov-20	7071,59	117525,87
Dec-20	7353,72	139763,27



SUMMARY OUTPUT							
<i>Regression Statistics</i>							
Multiple R		0,925498344					
R Square		0,856547185					
Adjusted R Square		0,849716099					
Standard Error		239,9913058					
Observations		23					
<i>ANOVA</i>							
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>		
Regression	1	7221917,625	7221917,625	125,3895988	2,58E-10		
Residual	21	1209512,364	57595,82688				
Total	22	8431429,99					
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i> <i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1694,42292	484,915808	3,494262079	0,002161395	685,9852917	2702,860548	685,9852917 2702,860548
140712,5232	0,040942968	0,003656357	11,19774972	2,58E-10	0,033339158	0,048546778	0,033339158 0,048546778

Gambar 3.9. Uji Regresi konsumsi energi listrik vs produksi tahun 2019 - Juni 2020

Hasil uji regresi (gambar 3.9) diperoleh $R^2 = 0,857$, artinya 85,7 % konsumsi energi dipengaruhi oleh produksi/penjualan nett, sehingga dapat dikatakan 14,3% konsumsi energi dipengaruhi variable lainnya diluar model regresi ini.

Dari uji regresi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa hubungan antara produksi/penjualan listrik dengan konsumsi energi listrik *own used* memiliki korelasi yang kuat ($R^2 > 0,7$)

3.5.5 Baseline dan Baseload

Baseline dan *baseload* diperoleh dengan menghubungkan antara konsumsi energi dengan produksi. Grafik gambar 3.X dan tabel 3.10 menunjukkan hubungan konsumsi energi dengan jumlah

produksi di PLTP Patuha. Sebaran titik-titik data yang berada sangat dekat dengan garis *trend (trendline)* pada grafik di atas menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara tingkat produksi dengan konsumsi energi. Hal ini juga diperkuat dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi, yaitu $R^2 = 0,857$. Menurut referensi yang ditetapkan oleh UNIDO (*United Nation for Industrial Development Organization*), nilai R^2 setidaknya harus mencapai 0,7. Dari sini dapat dikatakan bahwa secara umum tingkat produksi pada PLTP Patuha merupakan faktor utama yang menjadi penggerak konsumsi energi dan sistem produksi pada PLTP Patuha sudah cukup efisien. Meskipun peluang untuk meningkatkan efisiensi juga masih terbuka.

Formulas *Baseline & Baseload*:

$$\text{Energy Baseline} = 0,0408 * (\text{produksi/penjualan } \textit{nett} \text{ listrik}) + 1714,6(\text{GJ/bln})$$

$$\begin{aligned} \text{Baseload} &= \text{penggunaan walaupun tidak ada kegiatan produksi} \\ &= 1714,6 \text{ GJ per bulan} \end{aligned}$$

Dengan membandingkan konsumsi energi aktual dengan harapan (*baseline*) tiap bulan, maka akan didapatkan suatu *index* yang merupakan parameter yang menunjukkan deviasi pola penggunaan energi pada bulan tersebut terhadap *baseline*. *Index* ini bisa dijadikan sebagai monitoring kinerja energi pada suatu *plant*. Tabel 3.11 menunjukkan perbandingan konsumsi energi aktual dengan harapan (*expected*) di PLTP Patuha untuk periode tahun 2019-2020:

Nilai indeks pada tabel 3.11 diatas 1 menunjukan konsumsi energi aktual lebih besar daripada penggunaan energi yang diharapkan. Oleh karena itu, pada bulan-bulan tersebut yang menunjukkan konsumsi energinya berada di atas konsumsi energi yang diharapkan harus menjadi perhatian di PLTP Patuha. Kenapa atau ada tindakan apa yang menyebabkan konsumsi energi (*actual*)

pada bulan tersebut lebih tinggi dibandingkan harapan (*expected*). Sehingga hal-hal tersebut dapat dijadikan catatan untuk perbaikan pada tahun-tahun berikutnya.

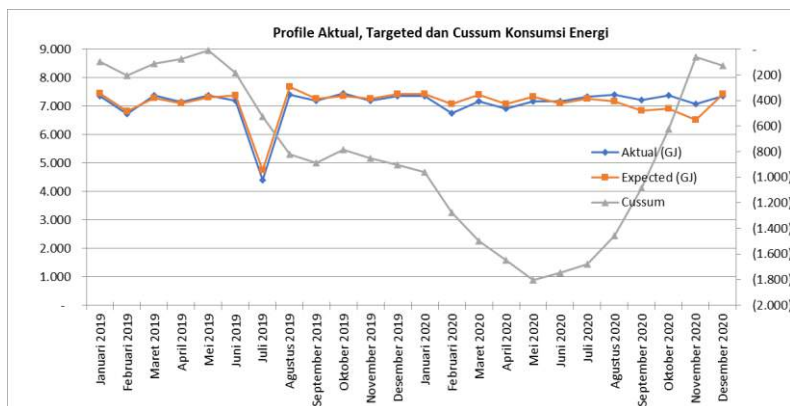
Tabel 3.11. Indeks konsumsi energi tahun 2019-2020

Periode Bulan	Aktual (GJ)	Expected (GJ)	Different	Cussum	Index
Jan-19	7.361	7.456	(95)	(95)	0,987
Feb-19	6.721	6.832	(111)	(206)	0,984
Mar-19	7.391	7.294	96	(110)	1,013
Apr-19	7.144	7.109	35	(74)	1,005
May-19	7.378	7.313	65	(9)	1,009
Jun-19	7.200	7.377	(177)	(186)	0,976
Jul-19	4.405	4.745	(340)	(526)	0,928
Aug-19	7.398	7.693	(295)	(821)	0,962
Sep-19	7.200	7.265	(65)	(886)	0,991
Oct-19	7.455	7.353	102	(784)	1,014
Nov-19	7.194	7.261	(67)	(851)	0,991
Dec-19	7.364	7.416	(53)	(903)	0,993
Jan-20	7.368	7.425	(57)	(960)	0,992
Feb-20	6.756	7.072	(317)	(1.277)	0,955
Mar-20	7.171	7.393	(223)	(1.499)	0,970
Apr-20	6.922	7.073	(151)	(1.651)	0,979
May-20	7.183	7.336	(153)	(1.803)	0,979
Jun-20	7.168	7.113	55	(1.748)	1,008
Jul-20	7.344	7.274	70	(1.679)	1,010
Aug-20	7.402	7.180	222	(1.456)	1,031
Sep-20	7.227	6.855	372	(1.084)	1,054
Oct-20	7.379	6.919	460	(624)	1,067
Nov-20	7.072	6.510	562	(62)	1,086
Dec-20	7.354	7.417	(63)	(125)	0,991
				AVERAGE =	0,999

Keterangan:

- Actual = Konsumsi energi aktual
- Expected = Konsumsi energi hasil proyeksi dari persamaan *baseline*
- Difference = Selisih **Actual - Expected**
- Cussum = Penjumlahan kumulatif dari **Difference**
- Index = Perbandingan antara **Actual/Expected**

Dari grafik pada gambar 3.10 dapat dilihat bahwa *gap* (*different*) antara energi aktual dengan energi *expected* (sesuai formula *baseline-baseload*), maka terlihat *gap* yang semakin mengecil (menurun) seiring waktu operasi PLTU. Pada waktu tertentu (Juni – November 2020) konsumsi energi (aktual) masih lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi energi *expected* (harapan) sehingga rasio atau *index* masih diatas 1. Total selisih energi kemudian diakumulasi menjadi *cussum* yang merupakan nilai akumulasi dari potensi penghematan yang bisa diperoleh dalam 1 tahun operasi PLTP Patuha. Terlihat bahwa *cussum* dalam 1 tahun operasi (Januari sampai bulan Des 2020) adalah sebesar 186,344 GJ.



Gambar 3.10. Konsumsi Energi (Aktual vs expected) dan Cussum

3.6 Potensi Pelepasan Gas Rumah Kaca atau Emisi CO₂

Emisi gas rumah kaca dihasilkan dari pemakaian energi listrik (*own used*) dan pemakaian bahan bakar minyak (*solar*) di PLTP Patuha. Untuk menghitung potensi pelepasan (emisi) Gas rumah kaca (GRK) digunakan metode penghitungan sebagai berikut:

a) Sumber Energi Listrik

Sesuai Surat Nomor 157/29/DJL.4/2016 tanggal 18 Januari 2016 dari Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan tentang

penyampaian perhitungan faktor emisi GRK sistem ketenagalistrikan, maka emisi GRK untuk pemakaian listrik dihitung dari faktor emisi PLN Jaringan Jamali sebesar 0,840 ton CO₂-e/MWh

b) Sumber Energi BBM (Minyak Solar)

Faktor Emisi BBM (jenis Solar) dihitung dengan faktor konversi sebesar 2.6413 kg/liter (diambil dari faktor konversi DEFRA 2010)

Dari jumlah konsumsi energi dan metode perhitungan masing-masing sumber energi, maka dapat dilakukan perhitungan jumlah emisi GRK selama 1 tahun terakhir (2020) di PLTP Patuha sebagai berikut:

No	Konsumsi Energi (per tahun 2020)	Unit	Jumlah	faktor	t-CO ₂ e
1	Listrik (Own Used)	MWh	23.984,57	x 0.840	18.755,93
2	Solar (BBM)	Liter	2.400	x 2.6413 E-3	6,34
				Total t-CO ₂ e	18.762,27

Sehingga dapat dikatakan bahwa PLTP Patuha menghasilkan emisi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer pada tahun 2020 sebesar 18.762,27 ton-CO₂e per tahun. Jika di bandingkan terhadap nilai produksi/penjualan listrik *nett* tahun 2020 maka diperoleh ton CO₂e/GJ adalah sebagai berikut:

Produksi/Penjualan Listrik Nett Tahun 2020:	1.592.921,14
Total t-CO ₂ e:	18.762,27
Ton CO ₂ e/GJ	0,01178

3.7 Status Pemakaian Air

Dari data sekunder yang diperoleh, diketahui pemakaian air domestik di PLTP Patuha mencapai rata-rata 5000 m³/bulan

dalam kondisi operasi normal. Pemakaian air pada fasilitas ini diperuntukkan untuk kebutuhan perkantoran, kantin, perumahan dan masjid. Rincian pemakaian air setiap bulan selama tahun 2020 disajikan pada tabel 3.12.

Tabel 3.12 Pemakaian Air 2020

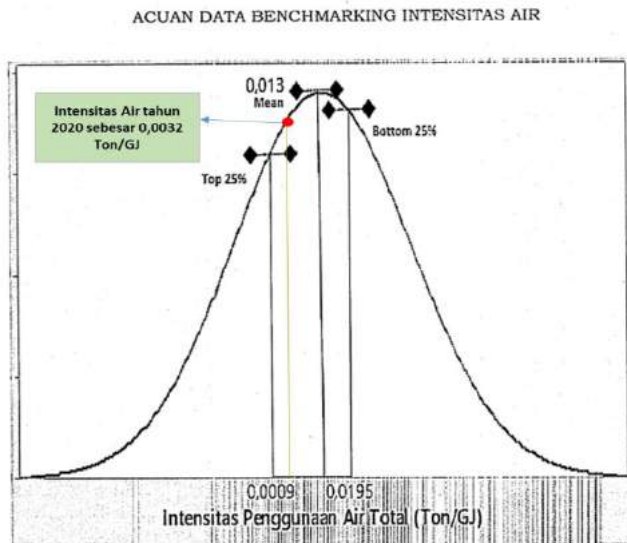
Bulan	Jumlah Pengambilan Air (m3)	Keterangan
Januari	2.029	
Februari	6.041	
Maret	3.120	
April	3.640	
Mei	5.335	
Juni	4.060	
Juli	4.692	
Agustus	7.306	
September	9.683	
Oktober	36.629	kegiatan <i>Workover</i>
November	48.433	kegiatan <i>Workover</i>
Desember	46	

Untuk mengetahui intensitas pemakaian air bersih, maka dapat dihitung dengan membandingkan jumlah pemakaian air dengan jumlah produk dari suatu fasilitas. Sebagai acuan untuk *Benchmarking* Intensitas Air, maka digunakan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Pencemaran Dan Kerusakan Lingkungan Nomor: P.19/PPKL/SET/KUM.1/ 10/2018 tentang *Benchmarking* Sektor Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.

Jika diketahui Total penggunaan air rata-rata pada kondisi normal (diluar kegiatan *workover*) tahun 2020 sebesar 5101 m³, maka diperoleh nilai Intensitas pemakaian air adalah sebesar:

Tahun	Penggunaan Air (m ³)	Produksi/Penjualan Nett Listrik	Intensitas Pemakaian Air Bersih (m ³ /GJ)
Rata-rata 2020	5101	1.592.921,14	0,00320

Dengan nilai Intensitas pemakaian air sebesar 0,00320 m³/GJ pada tahun 2020, maka dapat digambarkan dalam acuan benchmarking KLHK sebagai berikut (gambar 3.11),



Gambar 3.11 Nilai Intensitas Pemakaian Air terhadap Acuan Data

Benchmarking Intensitas Pemakaian Air Sektor Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Nilai Intensitas Air PLTP Patuha berada pada nilai acuan *Benchmarking* Intensitas Pemakaian Air yang dikeluarkan KLHK yaitu pada tahun 2020 masuk kedalam peringkat 25% teratas .

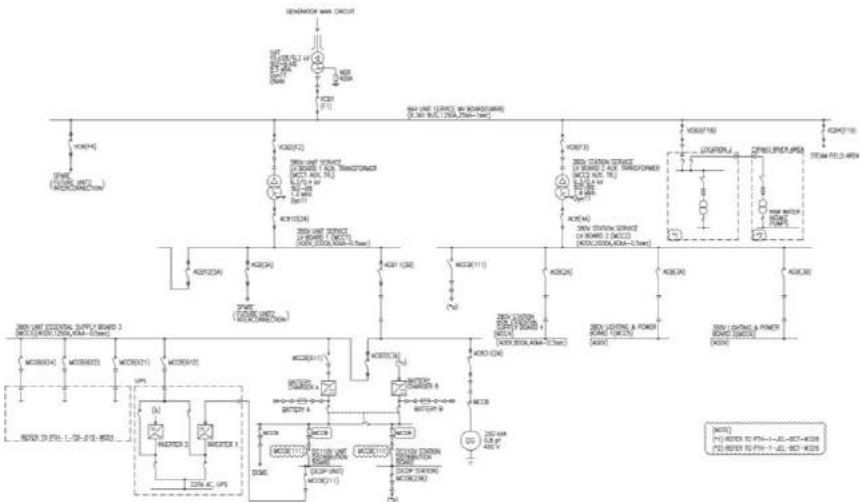
BAB 4

EVALUASI PADA PENGGUNA ENERGI UTAMA

4.1 Sistem Kelistrikan

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Patuha Unit 1 mempunyai kapasitas terpasang 60 MW yang terdiri dari 1 unit *steam turbine generator* yang bekerja pada tegangan 15 kV. Output dari generator menuju GI 150 KV melalui *step-up transformer* 15/150 kV. Sebagian *out generator* diperuntukkan melayani kebutuhan didalam pembangkit melalui *Auxiliary Transformer*.

Gambar 4.1 menunjukkan *single line diagram* sistem kelistrikan di PLTP Patuha.



Gambar 4.1 Single line diagram (SLD) kelistrikan di PLTP Patuha

Dari gambar SLD diatas dapat dilihat bahwa Tegangan 15 kV dari generator kemudian di *step down* ke 6,3 kV (*MV board*) untuk peralatan motor listrik 6 kV dan juga selanjutnya digunakan untuk peralatan pada *auxillary* pembangkit (LV board 400 V) di MCC 1, MCC 2, lokasi J (*area* Cipaku) dan sumur-sumur (*steam field area*).

4.1.1. Kualitas Daya Kelistrikan

4.1.1.1 Metodologi Analisis Kualitas Daya Kelistrikan

Kualitas daya dapat dikatakan sebagai syarat mutu catuan listrik yang terjadi karena anomali pada parameter kelistrikan dalam komponen tegangan sumbernya. Suplai daya listrik dari generator pembangkit sampai ke beban dioperasikan dalam batas toleransi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, frekuensi dan bentuk gelombang. Anomali dan deviasi diluar batas toleransi pada parameter tersebut mempengaruhi kualitas daya yang menyebabkan operasi tidak efisien dan dapat merusak perangkat.

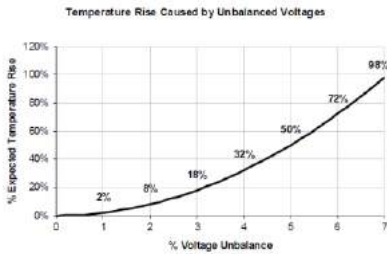
Permasalahan yang berkaitan dengan kualitas daya diantaranya adalah ketidakseimbangan tegangan (*over/under voltage*), ketidakseimbangan arus, harmonik yang mencakup *Total Harmonic Distortion* (THDV dan THDI), dan faktor daya.

a) *Unbalance Voltage* (Ketidakseimbangan Tegangan)

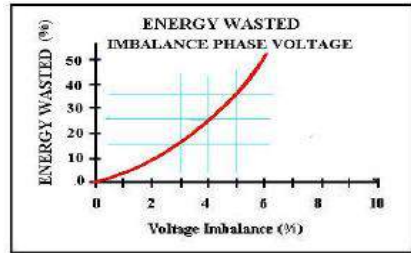
Unbalance Voltage (ketidakseimbangan tegangan) pada sistim kelistrikan umumnya disebabkan karena tidak seimbangnnya pembebanan pada masing-masing *phasa* RST sehingga mengakibatkan gangguan operasional pada sebuah motor dan juga bisa menimbulkan penurunan kemampuan/performa (*derating*) sebuah motor.

Motor yang mendapatkan suplay *power* yang tegangannya tidak seimbang akan menyebabkan tidak seimbangnnya arus yang mengalir menuju belitan stator motor. Meskipun persentase ketidakseimbangan tegangan tersebut kecil (*Percent Voltage Unbalance*) namun dapat menimbulkan persentase ketidakseim-

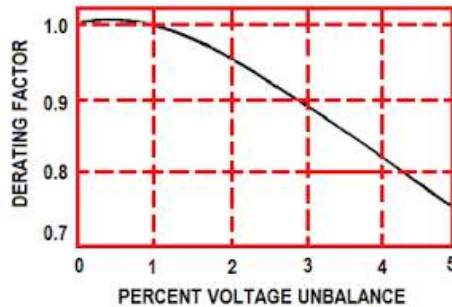
banan arus yang mengalir ke belitan *stator* motor menjadi besar, sehingga dapat meningkatkan kenaikan temperatur motor yang pada akhirnya bisa menyebabkan gangguan pada motor. Hubungan antara *unbalance* Tegangan dan kenaikan temperatur ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Hubungan antara *unbalance* Tegangan dan kenaikan suhu



Hubungan antara *unbalance* Tegangan dan pemborosan energi



Gambar 4.2 Hubungan antara *unbalance* Tegangan dan *derating* motor

Untuk melihat kualitas *unbalance voltage* dan ukuran *safety* distribusi kelistrikan merujuk pada standar NEMA (MGI) *part* 14.35 yang menyebutkan bahwasannya *unbalance voltage* yang terjadi di sistem distribusi tidak boleh melebihi 1%.

b) *Unbalance Current* (Ketidakseimbangan Arus)

Pada kebanyakan kasus, penyebab timbulnya *unbalance current* (arus tidak seimbang) pada motor adalah terjadinya *unbalance phase current* (tidak sebangnya arus antar fasa). Selain itu bisa

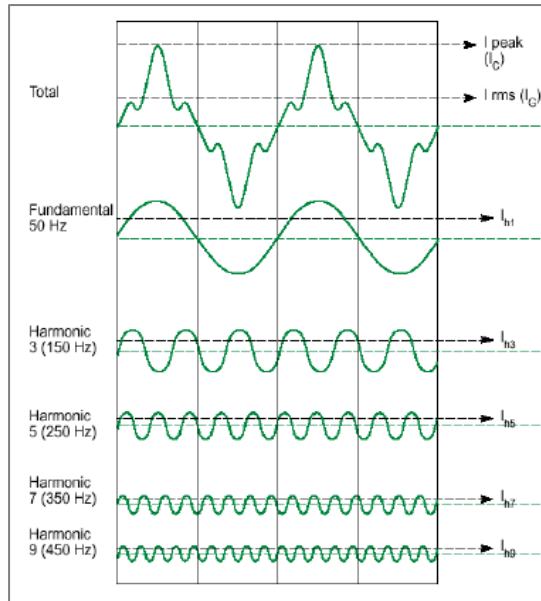
juga disebabkan karena perbedaan jumlah belitan masing-masing fasa pada stator motor ataupun karena tidak meratanya perbedaan *gap* antara stator dengan rotor.

Untuk melihat kualitas pembagian beban arus dan ukuran *safety* distribusi kelistrikan merujuk pada standar ANSI C 84. 1-1995 yang menyebutkan bahwasannya *unbalance* arus yang terjadi di sistem distribusi tidak boleh melebihi 20 %.

c) Distorsi Harmonik

Harmonik biasanya digunakan untuk mendefinisikan distorsi gelombang sinus arus dan tegangan pada amplitudo dan frekuensi yang berbeda. Beberapa harmonik dengan amplitudo dan frekuensi yang berbeda dapat membentuk satu gelombang terdistorsi. Tingkat dari besarnya gangguan akibat adanya harmonik pada tegangan atau arus adalah faktor distorsi, yaitu 100 kali harga (RMS) dari semua harmonik dibagi dengan harga RMS dari gelombang dasar. Besaran ini disebut *Total Harmonic Distortion* (THD) dan digunakan dalam satuan persen (%). Gelombang arus yang mengandung komponen harmonik disebut arus yang terdistorsi

Variabel yang diambil dalam pengukuran harmonisa pada penilaian peralatan THD. THD adalah total dari semua harmonik yang muncul, secara skematis dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Gelombang Harmonik

1) Sumber - sumber Harmonik

Diantara beberapa bagian sistem distribusi tenaga listrik di industri terdapat bagian terutama beban yang menghasilkan harmonik. Secara garis besar beban-beban yang menghasilkan harmonik dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

- *Arcing loads.*

Karakter gelombang yang diakibatkan oleh jenis beban ini menimbulkan gelombang yang bersifat acak. Jenis beban ini seperti tanur listrik (*electric arc furnace*), lampu *flourecent*, lampu *mercury*, lampu *xenon* dan lampu *neon*.

- *Semiconductor converter loads.*

Karakter gelombang yang diakibatkan oleh jenis beban ini bersifat terpola. Beban ini seperti *static power converter (rectifiers atau inverters)*, pengisi baterai (*bateray chargers*), *electronic ballast*, *variable frequency*, *thyristor ac power*

controllers, thyristor-controlled reactor (TCR), silicon controlled rectifier (SCR), adjustable speed drive (ASD), Static Var Compensator (SVC), Static Watt Compensator (SWC), UPS, dan lain-lain.

- *Loads with magnetic saturation of iron cores.*

Beban ini memiliki karakter gelombang terpotong. Jenis beban ini seperti *overexcited transformer*.

2) Efek Harmonik

Mengutip dari beberapa referensi dan sumber hasil penelitian dapat dihimpun efek-efek yang ditimbulkan dari harmonik, antara lain:

- Merusak kapasitor bank karena terjadi resonansi harmonik. Unjuk kerja sikring terganggu. Karakteristik arus waktu dari fuse dapat berubah.
- Menambah rugi-rugi, pemanasan, torsi harmonik dan getaran pada motor induksi dan motor sinkron.
- Motor induksi akan mengalami kegagalan start dan berputar pada kecepatan subsinkron (*subsynchronous speeds*).
- Bertambahnya arus urutan negatif pada generator yang dapat membahayakan rotor dan lilitan.
- Meningkatnya panas *eddy current*, menimbulkan *fluk* harmonik dan meningkatkan fluk density pada transformator.
- Terjadi tegangan dan arus lebih pada sistem karena terjadi resonansi.
- Kawat netral berarus sehingga menyebabkan kabel menjadi panas, kemudian menurunkan dielektrik kulit kabel.
- Rele proteksi akan mengalami perilaku yang tak menentu (*erratic behaviour*) atau malfungsi, terutama pada kontrol yang menggunakan mikroprosesor dan *solid-state*.

- Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar. Sebagai akibatnya terjadi kesalahan penunjukkan kWh meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekuensi dasar.
- Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Harmonik ke tiga pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi.
- Pemutus beban dapat bekerja di bawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal.
- Kerusakan pada sistem komputer, jaringan komunikasi dan jalur telepon

Tentunya efek-efek harmonik yang telah disebutkan di atas akan menimbulkan pengaruh ekonomis yang sangat signifikan. Mengurangi umur peralatan berarti peralatan harus diganti lebih cepat. Beban lebih pada sistem distribusi mengakibatkan level pelanggan daya dituntut untuk dinaikkan dengan rugi-rugi daya tambahan, jika tidak instalasi harus ditingkatkan. Distorsi pada arus dapat menyebabkan trip dan menghentikan peralatan produksi.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) merupakan lembaga atau organisasi internasional yang menangani masalah listrik dan elektronika. Lembaga ini melakukan penelitian dan analisis untuk menetapkan standar atau batas sebagai aturan yang menjadi referensi kelistrikan dan elektronika di beberapa negara di dunia. Standar IEEE no. 519 tahun 2014 telah menetapkan batas distorsi untuk gelombang arus dan tegangan pada sistem transmisi

dan distribusi listrik. Distorsi untuk tegangan didasarkan pada nilai nominal tegangan yang bekerja, sementara untuk distorsi arus dibatasi berdasarkan nilai perbandingan antara arus hubung singkat dan arus beban (SCA/IL). Standarisasi distorsi tegangan juga dibatasi berdasarkan distorsi yang disebabkan oleh tiap-tiap frekuensi harmonik, sedangkan untuk standarisasi distorsi arus dibatasi berdasarkan distorsi yang disebabkan oleh frekuensi harmonik khusus, yang menjadi dasar frekuensi harmonik lainnya.

Tabel 4.1 dan tabel 4.2 memperlihatkan besarnya batas distorsi tegangan dan arus berdasarkan standar IEEE 519-2014:

Tabel 4.1 Batas distorsi tegangan sistem transmisi dan distribusi listrik

Nominal Voltage	THD-V
$V \leq 69 \text{ kV}$	5%
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	2.50%
$V \geq 161 \text{ kV}$	1.50%

Tabel 4.2 Batas distorsi arus listrik

SCA/IL	Individual harmonic order (h) current distortion limit					THD
	$H < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$H \geq 35$	
	<i>V_{supply} < 69 kV</i>					
< 20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %
20 – 50	7,0 %	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	8,0 %
50 – 100	10,0 %	4,5 %	4,0 %	1,5 %	0,7 %	12,0 %
100 – 1000	12,0 %	5,5 %	5,0 %	2,0 %	1,0 %	15,0 %
> 1000	15,0 %	7,0 %	6,0 %	2,5 %	1,4 %	20,0 %

d) Faktor Daya

Pada sistem listrik AC (arus bolak-balik) daya semu (*apparent power*) dengan satuan volt-ampere (VA) terbagi atas dua bagian:

1. Daya aktif, daya yang termanfaatkan (*real power*)

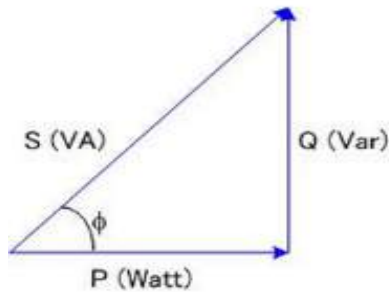
Daya yang mengalir dari sisi sumber ke sisi beban, memiliki satuan *watt* (W)

2. Daya reaktif (*reactive power*)

Daya yang tidak dimanfaatkan, namun hanya ada di jaringan, *volt-ampere-reactive* (VAR)

Nilai *power factor* menunjukkan rasio daya aktif yang bisa dimanfaatkan dari daya semu yang dihasilkan sumber.

$$\text{Faktordaya} = \cos\phi = \frac{P(W)}{S(VA)}$$



Gambar 4.4 Segitiga Daya listrik

Nilai yang diharapkan adalah $\theta = 0^\circ$, $\cos \theta = 1$, artinya semua daya tampak yang diberikan sumber dapat kita manfaatkan sebagai daya aktif, namun pada kondisi aktual $\cos \theta = 0.85$ yang berarti 85% daya tampak dapat kita pergunakan sebagai *real power*, sudah dianggap cukup baik.

e) **Over and Under voltage**

Over voltage merupakan peristiwa dimana tegangan meningkat dan melewati ambang batas tegangan nominal yang telah ditentukan dalam waktu yang relatif lama, sedangkan *under voltage* merupakan peristiwa dimana tegangan menurun dibawah ambang batas tegangan nominal yang telah ditentukan dalam waktu yang relatif lama. PLN telah menentukan batas ambang untuk *under and over voltage* dengan mengikuti standar IEC-60038, yaitu sebesar +5% dan -10%. (SPLN-1995)

4.1.1.2 Metodologi Pengukuran

Metode pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Power quality analyzer*. Lokasi pengukuran dilakukan di lokasi panel utama UAT (*Incoming*) yang berada di area PLTP Patuha.

Gambar 4.5 memperlihatkan aktifitas pengamatan dan pengukuran UAT PLTP Patuha:



Gambar 4.5 Dokumentasi pengukuran di panel *incoming auxillary* PLTP Patuha

4.1.2. Beban listrik pada Peralatan *Auxillary*

Daya yang dihasilkan oleh *Steam Turbine Generator* sebagian besar dikirim ke sistem jaringan 150 kV melalui generator transformer 15/150 kV dan digunakan untuk kebutuhan sendiri melalui *Unit Auxiliary Transformer* (UAT) dengan tegangan 6,3 kV. Tabel 4.3 memperlihatkan beban listrik untuk pemakaian sendiri (PS) hasil pengamatan dan pengukuran pada saat Audit Energi:

Tabel 4.3 *Panel equipment Load PS* yang dilakukan pengamatan dan pengukuran

No	Panel Equipment	Tegangan	Tanggal Pengambilan Data
LV Board 1 (MCC1)			
1	Aux Cooling Water Pump (A)	394	23-25 April 2021
2	Reinjection Pump (B)	395	23-25 April 2021
3	Air Compressor (A)	394	23-25 April 2021
MV Board			
4	Liquid Ring Vacuum Pump A	6273	23-25 April 2021
5	Hot Well Pump A	6267	23-25 April 2021
6	Hot Well Pump B	6278	23-25 April 2021
7	Cooling Tower Fan A	6266	23-25 April 2021
8	Cooling Tower Fan B	6270	23-25 April 2021
9	Cooling Tower Fan C	6271	23-25 April 2021
10	Cooling Tower Fan D	6209	23-25 April 2021
11	Cooling Tower Fan E	6270	23-25 April 2021
12	Raw Water Intake Supply	6272	23-25 April 2021
13	Steam Field Supply	6275	23-25 April 2021
14	Location J	6276	23-25 April 2021
LV Board 2 (MCC2)			
15	Main Oil Pump (B)	392	23-25 April 2021
16	Administration Building	392	23-25 April 2021
17	Turbine House Fan Roof	392	23-25 April 2021
18	Turbine House Fan-G (Ruangan)	394	23-25 April 2021

Dari data DCS yang diperoleh, diketahui bahwa penggunaan beban *own used* di PLTP Patuha rata-rata mencapai 2,70 MW dengan tegangan sebesar 6,3 kV.

4.1.3. Distribusi Beban Terukur pada Peralatan *Auxillary*

Dari hasil pengukuran pada masing-masing peralatan *auxillary* diperoleh distribusi beban dan prosentase load masing-masing peralatan (tabel 4.4).

Tabel 4.4 Prosentase *load* peralatan dan kualitas kelistrikan

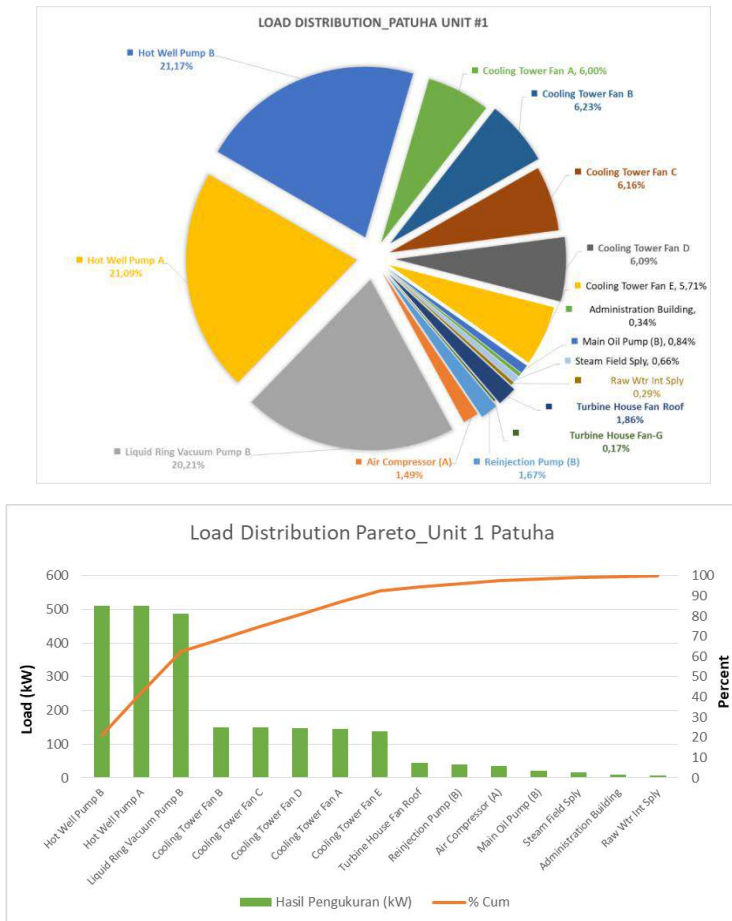
No	Equipment	Nameplate (kW)	Hasil Pengukuran (kW)	% Load	Cos phi	THDv	THDi
1	Reinjection Pump (B)	75	40,40	53,9	0,85	-	-
2	Air Compressor (A)	60	36,11	60,2	0,71	-	-
3	Liquid Ring Vacuum Pump B	590	488,17	82,7	0,81	0,92	1,59
4	Hot Well Pump A	550	509,58	92,7	0,83	0,93	1,08
5	Hot Well Pump B	550	511,50	93,0	0,83	0,96	1,11
6	Cooling Tower Fan A	160	145,00	90,6	0,84	-	-
7	Cooling Tower Fan B	160	150,49	94,1	0,85	1,00	1,68
8	Cooling Tower Fan C	160	148,74	93,0	0,85	1,02	1,67
9	Cooling Tower Fan D	160	147,00	91,9	0,85	-	-
10	Cooling Tower Fan E	160	138,00	86,3	0,85	-	-
11	Main Oil Pump (B)	37	20,36	55,0	0,85	-	-
12	Administration Building	87	8,3	9,5	0,94	0,98	27,92
13	Steam Field Supply	190	15,84	8,3	0,96	-	-
14	Raw Water Intake Supply	700	7	1,0	0,76	-	-
15	Turbine House Fan Roof	55	45	81,8	0,68	1,10	2,30
16	Turbine House Fan-G (Ruangan)	9	4,2	46,7	0,37	1,10	4,80

Dari hasil pengukuran rata-rata penggunaan daya listrik sendiri oleh pembangkit PLTP Patuha Unit 1 adalah 2,7 MW.

Hampir semua peralatan yang diukur, nilai harmonik tegangan THD-V (*Total Harmonic Distortion-Voltage*) dan arus THD-I (*Total Harmonic Distortion-Current*) juga terpantau di bawah batas yang

ditetapkan oleh IEEE Std 519-2014 yaitu 5% untuk THD-V dan 5% untuk THD-I.

Terlihat bahwa penggunaan energi listrik internal terbesar adalah pada peralatan *Hot Well Pump*, *Liquid Ring Vacuum Pump*, dan *Cooling Tower Fan*, dengan prosentase load masing - masing peralatan mencapai rata-rata diatas 82%. Distribusi masing-masing beban dapat dilihat pada gambar 4.6 dan grafik pareto berikut;



Gambar 4.6 Pareto Distribusi Beban Pemakaian Sendiri (PS)

5 pengguna beban terbesar adalah pada peralatan *Hot Well Pump* A dan B, *Liquid Ring Vacuum Pump*, dan *Cooling Tower Fan* B dan C.

4.1.4. Sistem Kelistrikan utama UAT PLTP Patuha Unit 1

4.1.4.1 Kualitas Kelistrikan Pada Feeder 6 kV MV Board (UMVB)

Berdasarkan *single line diagram* yang diperoleh, feeder 6 kV MV Board (UMVB) melayani seluruh beban tegangan menengah 6 kV untuk pemakaian sendiri (PS) yang ada di PLTP Unit 1 Patuha. Disamping di *step down* ke feeder MCC-1 dan MCC-2, beban peralatan utama yang dilayani dari *feeder* ini antara lain peralatan *Liquid Ring Vacuum Pump*, *Hot Well Pump*, dan *Cooling Tower*. Gambar 4.7 memperlihatkan dokumentasi saat pengukuran di *feeder* 6 kV MV Board (UMVB):



Gambar 4.7 Dokumentasi pengukuran kelistrikan di *feeder* 6 kV MV Board (UMVB)

Hasil pengukuran dan analisis kualitas kelistrikan di *feeder* 6 kV MV Board (UMVB) yang dilakukan tanggal 12 April 2021 dapat diuraikan sebagai berikut:

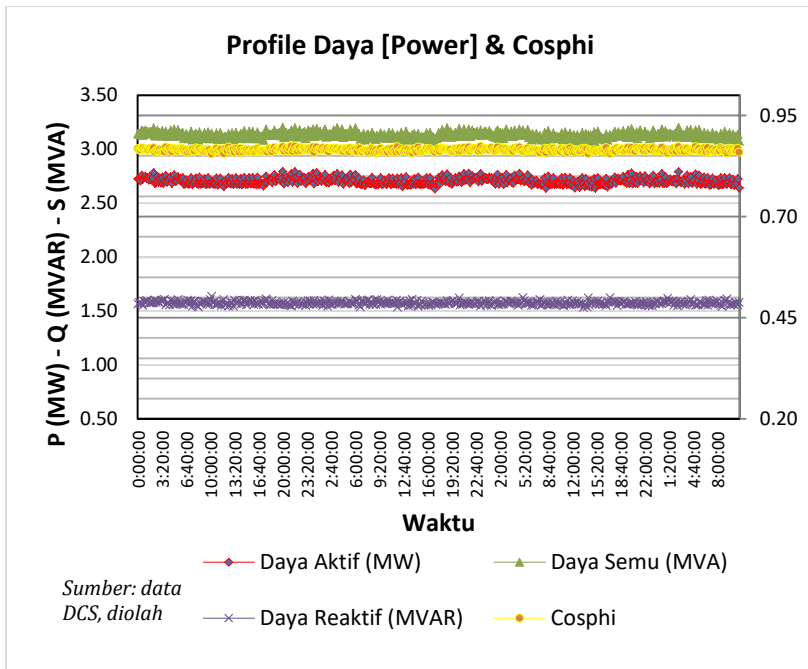
1. Profile beban pada 6 kV MV Board (UMVB)

Hasil pengukuran sistem kelistrikan menghasilkan format data berupa Meta data dalam format csv yang di *download* dari alat ukur *power quality*. Data csv tersebut kemudian diolah dengan

menggunakan *spread sheet* (excel) untuk disajikan menjadi suatu informasi mengenai gambaran beban dan kualitas kelistrikan

Metode pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Power quality analyzer* dan *Clamp on*. Pengukuran *feeder outgoing* beban dilakukan di Panel yang berada di ruangan.

Dari hasil pengukuran dan pengambilan data *power* pada ruang *control* DCS, maka dapat dilihat profil beban pada *feeder* 6 kV MV Board (UMVB) sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Profil beban *feeder* 6 kV MV Board (UMVB)

Dari grafik profil beban (MW), (MVA) dan faktor daya diatas, terlihat bahwa beban pada *feeder* 6 kV MV Board (UMVB) relative plate/datar, dengan nilai rata-rata beban berkisar 2,70 MW dan beban maksimal sebesar 2,79 MW.

Diketahui nilai parameter kualitas kelistrikan adalah sebagai berikut:

	Max	Min	Average
Cosphi	0,869	0,863	0,866
Over & Under Volt [%]	-0,77	-1,30	-1,01
Unb Voltage [%]	0	0	0
Unb Current [%]	1,44	1,23	1,32
THDv			
R	0,94	0,90	0,92
S	1,01	0,97	0,99
T	0,94	0,91	0,92
THDi			
R	1,81	1,40	1,68
S	1,74	1,48	1,59
T	1,71	1,50	1,60


2. Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan

Penilaian kualitas kelistrikan di pengguna energi bertujuan untuk melihat kondisi (kualitas) suplai listrik ke beban/pengguna dan juga menghindari terjadinya gagal operasi akibat suplai listrik yang tidak baik.

Kajian terhadap kualitas kelistrikan di beban 3 *phase* ditujukan untuk menjaga performansi. Dengan kualitas kelistrikan yang buruk dapat menyebabkan kinerja peralatan beban 3 *phase* terganggu bahkan dapat menimbulkan derating atau penurunan kinerja (*performance*) dan umur (*life time*) peralatan.

Dengan mengacu kepada standar dan parameter kualitas kelistrikan yang sudah dibahas pada Sub Bab 4.1.1 diatas. Tabel 4.5 memaparkan data hasil pengukuran kualitas kelistrikan di *feeder* 6 kV MV Board (UMVB):

Tabel 4.5 Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan *Feeder 6 kV MV Board* (UMVB)

OBSERVATION PERIOD	12-04-21	12-04-21	Inc_MV (Own Used)			
	Max.	Min.	Average			
Tegangan [V]						
Phase R	6252	6240	6248			
Phase S	6233	6219	6227			
Phase T	6242	6227	6236			
Arus [Ampere]						
Phase R	299,10	292,30	294,68			
Phase S	294,40	287,70	289,99			
Phase T	292,60	285,50	287,90			
Phase N	15,90	14,40	15,09			
Daya Semu [kVA]	3190,00	3120,00	3142,50			
Daya Aktif [kW]	2650,00	2590,00	2611,67			
Daya Reaktif [kVAR]	1770,00	1740,00	1747,50			
	Max.	Min.	Average	Standar		Remark
Cos phi	0,87	0,86	0,87	≥ 0,85	PLN	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Frekuensi (Hz)	50,12	49,95	50,03	49,5 Hz - 50,5 Hz	Per Men ESDM No. 04/2009	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Over & Under voltage [%]	-0,77	-1,30	-1,01	+ 5% , -10%	SPLN 1995 & IEC-60038	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Unbalance Voltage [%]	0,19	0,15	0,17	≤ 1%	NEMA	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Unbalance Current [%]	1,44	1,23	1,32	≤ 20%	ANSI C84.1	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THD Voltage [%]						
THDF V-R	0,94	0,90	0,92	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-S	1,01	0,97	0,99	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-T	0,94	0,91	0,92	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THD Current [%]						
THDF I-R	1,81	1,40	1,68	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-S	1,74	1,48	1,59	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-T	1,71	1,50	1,60	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi

Dari nilai kualitas kelistrikan yang ditunjukkan pada tabel 4.5, maka diketahui bahwa kualitas daya kelistrikan pada umumnya sudah baik. Semua parameter kelistrikan yang di nilai memenuhi standar yang ada.

4.1.4.2 Kualitas Kelistrikan Pada Feeder 380 Volt LV Board (MCC-1)

Berdasarkan single line diagram dan informasi yang diperoleh saat dilakukan survey/Audit energi, feeder 380 Volt LV Board MCC-1 melayani beban peralatan 380 Volt antara lain adalah peralatan *Aux Cooling Water Pump*, *Reinjection Pump*, *Main Oil Pump*, *Air Compressor* dan juga semua beban yang ada di *Unit Essential Supply Board* MCC-3. Gambar 4.9 memperlihatkan dokumentasi saat pengukuran di *feeder 380 Volt LV Board* MCC-1:

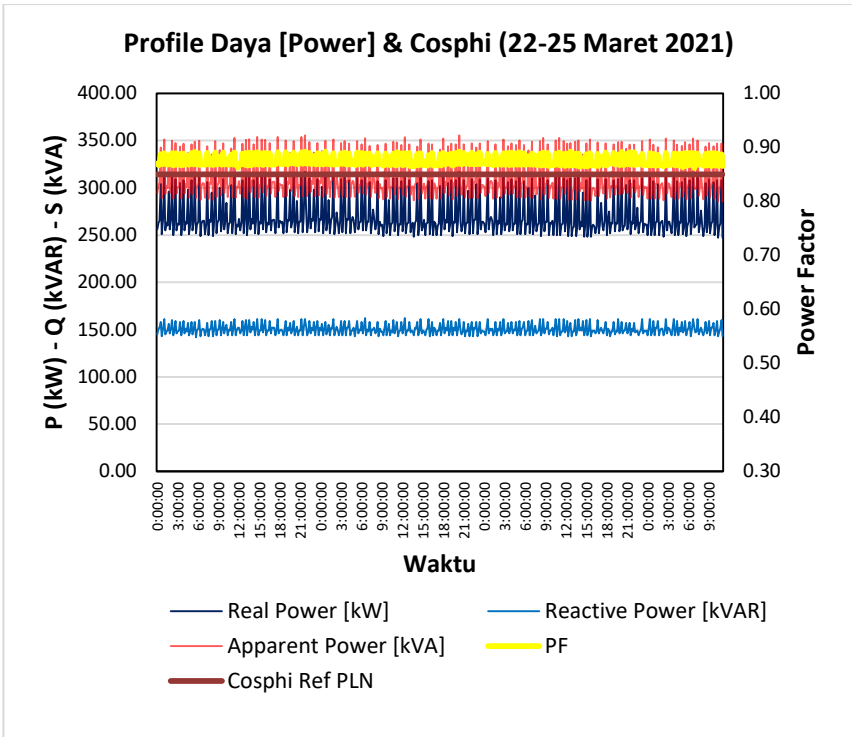


Gambar 4.9 Dokumentasi pengukuran kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1

Hasil pengukuran dan analisis kualitas kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 yang dilakukan tanggal 22-25 Maret 2021 dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Profile Beban pada 380 Volt LV Board MCC-1

Dari hasil pengukuran dan pengambilan data *power* pada ruang kontrol DCS, maka dapat dilihat profil beban pada *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 pada gambar 4.10:



Gambar 4.10 Profile Daya dan Cosphi pada *Feeder* 380 Volt
LV Board MCC-1

Dari grafik profil beban (kW), (kVA), (kVAR) dan faktor daya diatas, terlihat bahwa beban pada *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 sangat fluktuatif, dengan nilai rata-rata beban berkisar 270,84 kW dan beban maksimal sebesar 317 kW.

Nilai parameter kualitas kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 adalah sebagai berikut:

Tanggal: 25 Maret 2021

	Max	Min	Average
Cosphi	0,89	0,86	0,87
Over & Under Volt [%]	3,19	2,56	2,82
Unb Voltage [%]	0,24	0,21	0,23
Unb Current [%]	2,84	1,95	2,40
THDv			
R	0,85	0,66	0,81
S	0,90	0,67	0,83
T	0,89	0,65	0,83
THDi			
R	9,12	4,14	6,54
S	9,75	4,53	7,06
T	9,14	4,03	6,50

2. Analisis dan Evaluasi Sistem Kelistrikan


Dengan mengacu kepada standar dan parameter kualitas kelistrikan yang sudah dibahas pada Sub Bab 4.1.1 diatas. Tabel 4.6 memperlihatkan data hasil pengukuran kualitas kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1:

Sama halnya dengan *feeder* 6 kV MV Board, kualitas daya kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 pada umumnya sudah baik. Semua parameter kelistrikan yang di nilai memenuhi standar yang ada.

Berdasarkan data pengukuran, pada sistem kelistrikan MCC-1 terjadi arus netral sebesar rata-rata 15,42 Ampere dan juga mengakibatkan harmonik tegangan dan arus (THDv dan THDi) di kabel Netral (Fasa N) sebesar rata-rata 33,66 dan 57,36%.

Harmonisa pada fasa netral dapat terjadi dikarenakan akibat adanya arus yang mengalir di fasa netral dan juga adanya ketidakseimbangan arus pada sistem kelistrikan.

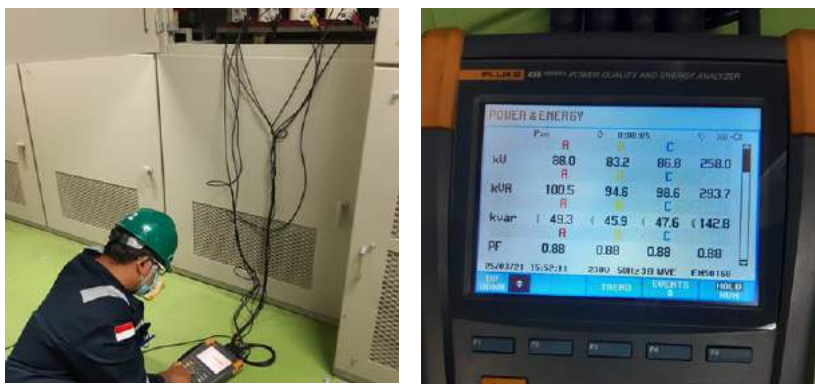
Tabel 4.6 Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan di
feeder 380 Volt LV Board MCC-1.

OBSERVATION PERIOD		25-03-21	25-03-21	MCC 1_PLTP Patuha		
	Max.	Min.	Average			
Tegangan [V]						
Phase R	227,25	226,54	226,90			
Phase S	226,44	225,77	226,09			
Phase T	226,50	225,82	226,16			
Arus [Ampere]						
Phase R	520,00	426,00	467,80			
Phase S	494,00	400,00	442,10			
Phase T	514,00	419,00	460,98			
Phase N	16,50	14,40	15,42			
Daya Semu [kVA]	345,62	281,82	310,34			
Daya Aktif [kW]	306,42	244,28	270,82			
Daya Reaktif [kVAR]	173,17	128,73	151,42			
	Max.	Min.	Average	Standar		Remark
Cos phi	0,89	0,86	0,87	≥ 0,85	PLN	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Frekuensi (Hz)	50,03	49,91	49,96	49,5 Hz - 50,5 Hz	Per Men ESDM No. 04/2009	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Over & Under voltage [%]	3,19	2,56	2,82	+ 5% , -10%	SPLN 1995 & IEC-60038	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Unbalance Voltage [%]	0,24	0,21	0,23	≤ 1%	NEMA	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Unbalance Current [%]	2,84	1,95	2,40	≤ 20%	ANSI C84.1	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THD Voltage [%]						
THDF V-R	0,85	0,66	0,81	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-S	0,90	0,67	0,83	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-T	0,89	0,65	0,83	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-N	44,89	23,37	33,66			
THD Current [%]						
THDF I-R	9,12	4,14	6,54	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-S	9,75	4,53	7,06	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-T	9,14	4,03	6,50	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-N	61,60	53,52	57,36			

Arus netral pada sistem distribusi merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral pada sistem tiga fasa empat kawat. Munculnya arus netral dapat disebabkan karena ketidakseimbangan beban dan juga karena adanya arus harmonisa sebagai akibat banyaknya penggunaan beban nonlinier

4.1.4.3 Kualitas Kelistrikan Pada Feeder 380 Volt LV Board (MCC-2)

Berdasarkan *single line diagram* dan informasi yang diperoleh saat dilakukan survey/Audit energi, *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2 melayani beban peralatan pada tegangan 380 Volt antara lain adalah peralatan sistem *lighting*, gedung administrasi dan juga semua beban yang ada di *Unit Essential Supply Board* MCC-4, MCC-5 dan MCC-6. Gambar 4.11 memperlihatkan dokumentasi saat pengukuran di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2:

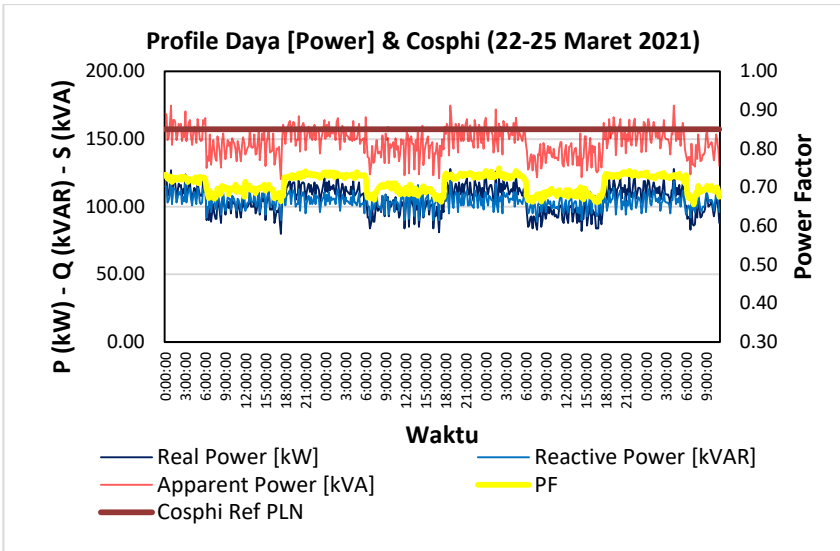


Gambar 4.11 Dokumentasi pengukuran kelistrikan di feeder 380 Volt LV Board MCC-2

Hasil pengukuran dan analisis kualitas kelistrikan di feeder 380 Volt LV Board MCC-2 yang dilakukan tanggal 22-25 Maret 2021 dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Profile Beban pada 380 Volt LV Board MCC-2

Dari hasil pengukuran dan pengambilan data *power* pada ruang control DCS, maka dapat dilihat profil beban pada *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2 pada gambar 4.12:



Gambar 4.12 Profile Daya dan Cosphi Feeder 380 Volt LV Board MCC-2
Dari grafik profil beban (kW), (kVA), (kVAR) dan faktor daya pada gambar 4.12, terlihat bahwa beban pada *feeder* 380 Volt LV Board MCC-1 sangat fluktuatif, dengan nilai rata-rata beban berkisar 105,21 kW dan beban maksimal sebesar 128 kW.

Nilai parameter kualitas kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2 adalah sebagai berikut:

Tanggal 25 Maret 2021

	Max	Min	Average
Cosphi	0,75	0,66	0,71
Over & Under Volt [%]	3,54	2,90	3,18
Unb Voltage [%]	0,22	0,18	0,20
Unb Current [%]	5,65	2,83	4,22
THDv			
R	1,08	0,99	1,04
S	1,11	1,02	1,07
T	1,09	1,01	1,06
THDi			
R	3,57	3,09	3,35
S	3,19	2,55	2,91
T	2,31	2,12	2,22

3. Analisis dan Evaluasi Sistem Kelistrikan

Dengan mengacu kepada standar dan parameter kualitas kelistrikan yang sudah dibahas pada Sub Bab 4.1.1 diatas. Tabel 4.7 menyajikan data hasil pengukuran kualitas kelistrikan di feeder 380 Volt LV Board MCC-2.

Sama halnya dengan *feeder* 6 kV MV Board, kualitas daya kelistrikan di *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2 pada umumnya sudah baik, namun nilai rata-rata faktor daya (*cosphi*) masih dibawah nilai yang dipersyaratkan PLN ($>0,85$).


Berdasarkan data pengukuran, nilai faktor daya pada *feeder* 380 Volt LV Board MCC-2 mengalami fluktuatif, dimana nilai rata-rata selama pengukuran sebesar 0,71 dan maksimal 0,75. Dikarenakan sumber listrik berasal dari pembangkit sendiri, maka faktor daya yang rendah tidak berpengaruh terhadap ketentuan minimum dari nilai *copshi* PLN.

Kemudian, sama halnya dengan MCC-1, berdasarkan data pengukuran, pada sistem kelistrikan MCC-2 juga terjadi arus netral sebesar rata-rata 17,82 Ampere dan juga mengakibatkan harmonic tegangan dan arus (THDv dan THDi) di kabel Netral (Fasa N) sebesar rata-rata 69,04 dan 59,38%.

Harmonisa pada fasa netral dapat terjadi dikarenakan akibat adanya arus yang mengalir di fasa netral dan juga adanya ketidakseimbangan arus pada sistem kelistrikan.

Arus netral pada sistem distribusi merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral pada sistem tiga fasa empat kawat. Munculnya arus netral dapat disebabkan karena ketidakseimbangan beban dan juga karena adanya arus harmonisa sebagai akibat banyaknya penggunaan beban nonlinier.

Tabel 4.7 Analisis dan Evaluasi Kualitas Kelistrikan di feeder 380 Volt LV Board MCC-2.

OBSERVATION PERIOD		25-03-21	25-03-21	MCC_2_PLTP Patuha		
	Max.	Min.	Average			
Tegangan [V]						
Phase R	228,08	227,22	227,66			
Phase S	227,36	226,59	226,99			
Phase T	227,35	226,57	226,99			
Arus [Ampere]						
Phase R	244,00	186,00	213,22			
Phase S	218,00	170,00	192,11			
Phase T	240,00	187,00	209,76			
Phase N	21,30	12,70	17,82			
Daya Semu [kVA]	159,23	123,62	139,75			
Daya Aktif [kW]	111,12	84,56	98,21			
Daya Reaktif [kVAR]	114,21	84,04	99,33			
	Max.	Min.	Average	Standar		Remark
Cos phi	0,75	0,66	0,71	≥ 0,85	PLN	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Frakuensi (Hz)	50,03	49,94	49,98	49,5 Hz - 50,5 Hz	Per Men ESDM No. 04/2009	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Over & Under voltage [%]	3,54	2,90	3,18	+ 5% , -10%	SPLN 1995 & IEC-60038	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Unbalance Voltage [%]	0,22	0,18	0,20	≤ 1%	NEMA	Nilai Rata-Rata Memenuhi
Unbalance Current [%]	5,65	2,83	4,22	≤ 20%	ANSI C84.1	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THD Voltage [%]						
THDF V-R	1,08	0,99	1,04	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-S	1,11	1,02	1,07	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-T	1,09	1,01	1,06	≤ 5%	IEEE - 519-2014	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF V-N	77,80	58,46	69,04			
THD Current [%]						
THDF I-R	3,57	3,09	3,35	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-S	3,19	2,55	2,91	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-T	2,31	2,12	2,22	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-N	102,02	44,17	59,38			

4.1.5. Evaluasi Sistem kelistrikan terhadap Harmonisa yang terjadi pada peralatan SEU di Panel Incoming 6,3 kV

1) Motor CT Fan B

Nilai harmonic pada motor CT Fan B adalah sebagai berikut:

Pengukuran Incoming CT Fan-B:					
Daya nyata (active power)	153,200.00	Watt	153.20	kW	
Daya semu (apparent power)	180,300.00	VA	180.30	kVA	
Daya reaktif (reactive power)	95,100.00	Var	95.10	kVAr	
Arus	16.63	Ampere			
Voltage	6.28	kV			
Power factor (PF)	0.85				
Frekuensi (Hz)	50.11	Hz			
<i>Harmonics:</i>					
	Aktual (Pengukuran)				Standar IEEE 519-2014
THD (%)	R	S	T	Nilai (%)	
THD V	1.02	1.06	1.03	5	Memenuhi (Aman)
THD I	1.99	1.93	1.91	5	Memenuhi (Aman)

2) Motor CT Fan C

Nilai harmonic pada motor CT Fan C adalah sebagai berikut:

Pengukuran Incoming CT Fan-C:					
Daya nyata (active power)	151,000.00	Watt	151.00	kW	
Daya semu (apparent power)	177,600.00	VA	177.60	kVA	
Daya reaktif (reactive power)	93,400.00	Var	93.40	kVAr	
Arus	16.35	Ampere			
Voltage	6.28	kV			
Power factor (PF)	0.85				
Frekuensi (Hz)	50.08	Hz			
<i>Harmonics:</i>					
	Aktual (Pengukuran)			Standar IEEE 519-2014	
THD (%)	R	S	T	Nilai (%)	Keterangan
THD V	1.02	1.08	1.05	5	Memenuhi (Aman)
THD I	1.87	1.91	1.88	5	Memenuhi (Aman)

3) Motor HWP-A

Nilai harmonic pada motor HWP-A adalah sebagai berikut:

Pengukuran Incoming HWP-A:					
Daya nyata (active power)	513,000.00	Watt	513.00	kW	
Daya semu (apparent power)	615,000.00	VA	615.00	kVA	
Daya reaktif (reactive power)	340,000.00	Var	340.00	kVAr	
Arus	56.64	Ampere			
Voltage	6.28	kV			
Power factor (PF)	0.83				
Frekuensi (Hz)	50.03	Hz			
<i>Harmonics:</i>					
THD (%)	Aktual (Pengukuran)			Standar IEEE 519-2014	
	R	S	T	Nilai (%)	Keterangan
THD V	0.95	1.01	0.95	5	Memenuhi (Aman)
THD I	1.23	1.2	1.23	5	Memenuhi (Aman)

4) Motor HWP-B

Nilai harmonic pada motor HWP-B adalah sebagai berikut:

Pengukuran Incoming HWP-B:					
Daya nyata (active power)	516,000	Watt	516	kW	
Daya semu (apparent power)	618,000	VA	618	kVA	
Daya reaktif (reactive power)	340,000	Var	340	kVAr	
Arus	56.93	Ampere			
Voltage	6.27	kV			
Power factor (PF)	0.84				
Frekuensi (Hz)	50.08	Hz			
<i>Harmonics:</i>					
THD (%)	Aktual (Pengukuran)			Standar IEEE 519-2014	
	R	S	T	Nilai (%)	Keterangan
THD V	0.98	1.03	0.99	5	Memenuhi (Aman)
THD I	1.18	1.4	1.24	5	Memenuhi (Aman)

5) Motor LRVP-B

Nilai harmonic pada motor LRVP-B adalah sebagai berikut:

Pengukuran Incoming LRVP-B:				
Daya nyata (active power)	501,000	Watt	501	kW
Daya semu (apparent power)	611,000	VA	611	kVA
Daya reaktif (reactive power)	351,000	Var	351	kVAr
Arus	56.14	Ampere		
Voltage	6.27	kV		
Power factor (PF)	0.82			
Frekuensi (Hz)	50.03	Hz		

Harmonics:

THD (%)	Aktual (Pengukuran)			Standar IEEE 519-2014	
	R	S	T	Nilai (%)	Keterangan
THD V	0.95	1	0.95	5	Memenuhi (Aman)
THD I	1.82	1.75	2	5	Memenuhi (Aman)

4.1.6. Evaluasi Konsumsi Listrik di Gedung/Bangunan

Konsumsi energi listrik di bangunan gedung secara porsi (persentase) terhadap penggunaan sendiri (*own use*) ± 2.56 MW adalah kurang dari 1%. Sebagai contoh daya listrik untuk gedung kantor admin atas sekitar 8.32 kW dan untuk gedung basecamp bawah sekitar 6.08 kW.

Gambaran pola penggunaan energi listrik pada bangunan/gedung kantor admin atas dan kantor basecamp bawah digambarkan secara umum pada bagian berikut.

4.1.6.1 Gedung Kantor Admin (atas)

Kantor gedung admin atas menggunakan daya listrik sekitar 8.32 kW. Daya listrik tersebut didistribusikan ke sistem tata cahaya/penerangan ruangan-ruangan sebesar 24% (2.01 kW) dan 76% (6.3 kW) digunakan untuk sumber listrik peralatan-peralatan

penunjang kantor seperti komputer, printer, mesin fotocopy, dan lain sebagainya.

Berdasarkan nilai benchmarking (Permen ESDM no. 14 tahun 2012), gedung kantor admin atas termasuk pada kriteria gedung “cukup hemat energi” dengan nilai indek efisiensi energi sebesar 5.8 kWh/m²/bulan. Meskipun termasuk pada kriteria gedung hemat energi namun beberapa aspek kualitas penerangan belum memenuhi standar, dimana kuat penerangan di ruangan-ruangan terukur masih di bawah nilai minimum yang disyaratkan oleh standar SNI.

Untuk sistem distribusi dan kualitas kelistrikan, belum ada sistem pencatatan energi gedung, sehingga dalam laporan ini direkomendasikan untuk memasang kWh meter di panel incoming gedung admin atas. Kurangnya aktifitas *house keeping* gedung menyebabkan sistem pembagian beban di gedung tidak termonitor, sehingga terukur beban di fasa R lebih besar dibandingkan dengan fasa lainnya yang pada akhirnya membuat nilai *unbalance* arus tidak memenuhi standar yang disyaratkan.

4.1.6.2 Gedung Kantor *Bascamp* (bawah)

Kantor gedung *basecamp* bawah menggunakan daya listrik sekitar 6.08 kW. Daya listrik tersebut didistribusikan ke sistem tata cahaya/penerangan ruangan-ruangan sebesar 15% (0.913 kW) dan 85% (5.16 kW) digunakan untuk sumber listrik peralatan-peralatan penunjang kantor seperti komputer, printer, mesin fotocopy, dan lain sebagainya.

Berdasarkan nilai *benchmarking* (Permen ESDM no. 14 tahun 2012), gedung kantor *basecamp* bawah termasuk pada kriteria gedung “cukup hemat energi” dengan nilai indek efisiensi energi sebesar 7.11 kWh/m²/bulan. Meskipun termasuk pada kriteria gedung hemat energi namun beberapa aspek kualitas penerangan belum memenuhi standar, dimana kuat penerangan di ruangan-

ruangan terukur masih di bawah nilai minimum yang disyaratkan oleh standar SNI.

Untuk sistem distribusi dan kualitas kelistrikan, belum ada sistem pencatatan energi gedung, sehingga dalam laporan ini direkomendasikan untuk memasang kWh meter di panel incoming gedung kantor basecamp bawah. Kurangnya aktifitas house keeping gedung menyebabkan sistem pembagian beban di gedung tidak termonitor, sehingga terukur beban di fasa S lebih besar dibandingkan dengan fasa lainnya yang pada akhirnya membuat nilai unbalance arus tidak memenuhi standar yang disyaratkan.

4.1.7. Kesimpulan Hasil Pengukuran kualitas kelistrikan

Berdasarkan hasil pengukuran kelistrikan, menunjukkan bahwa nilai kualitas listrik pada UAT di PLTP Patuha Unit 1, pada umumnya masih baik, nilai unbalance tegangan masih dalam nilai batas yang direkomendasikan.

(1) Kehandalan Suplai daya

Pada saat dilakukan Audit pada rentang 22-25 Maret 2021, dari data *recording DCS* yang di *download* datanya, tidak terjadi *trip* atau listrik terputus. Hal ini menunjukkan bahwa kontinuitas suplai daya sudah baik atau suplai dari PLTP dapat dikatakan handal.

(2) Daya Aktif (MW)

Dari data DCS pada saat dilakukan survey/audit energi (periode 22-25 Maret 2021), tercatat bahwa beban maksimal listrik dari pemakaian sendiri adalah sebesar 2,7 MW dengan tegangan 6,3 kV.

(3) Faktor Daya ($\cos \phi$)

Faktor daya ($\cos \phi$) adalah beban yang berjenis reaktif yang timbul akibat adanya beban-beban induktif. Dampak negatif dari beban induktif akan menyebabkan nilai $\cos \phi$ turun.

Standar untuk nilai $\cos \phi$ yang disyaratkan oleh PLN adalah minimum 0.85.

Namun demikian untuk mengejar target kualitas kelistrikan yang baik, sebaiknya nilai $\cos \phi$ adalah 0,9. Apabila nilai $\cos \phi$ dibawah 0,85 akan menyebabkan kebutuhan kapasitas terpasang menjadi naik hal ini disebabkan oleh kenaikan nilai daya reaktif.

Dari pengukuran yang dilakukan diketahui bahwa $\cos \phi$ yang diperoleh dari pengukuran di tegangan MV dan di LV MCC-1 diperoleh nilai $\cos \phi$ sebesar 0,87, sedangkan pengukuran di LV MCC-2 nilai $\cos \phi$ masih relatif rendah, dengan nilai rata-rata sebesar 0,71 (nilai $\cos \phi$ dibawah nilai yang dipersyaratkan PLN (0,85)).

(4) *Unbalance* Tegangan.

Unbalance Voltage/Tegangan (ketidakseimbangan tegangan) pada sistim kelistrikan umumnya disebabkan karena tidak seimbangnnya pembebanan pada masing-masing fasa RST sehingga mengakibatkan gangguan operasional pada sebuah motor dan juga bisa menimbulkan penurunan kemampuan/performa (*derating*) sebuah motor.

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai *Unbalance* Tegangan pada semua *feeder* yang diukur masih baik, rata-rata terukur masih dibawah standar yang dipersyaratkan (1% - NEMA).

(5) *Unbalance* arus.

Untuk melihat kualitas pembagian beban arus dan ukuran *safety* distribusi kelistrikan merujuk pada standar ANSI C 84. 1-1995 yang menyebutkan bahwasannya *unbalance* arus yang terjadi di sistem distribusi tidak boleh melebihi 20 %.

Berdasarkan hasil pengukuran nilai *Unbalance* Arus pada semua *feeder* yang diukur rata-rata terukur masih dibawah standar yang dipersyaratkan.

(6) THD Tegangan dan THD arus.

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap nilai harmonik (THD tegangan dan THD arus) pada semua *feeder* yang diukur, di peroleh nilai THD-V (Tegangan) rata-rata dan Nilai THD-I (Arus) rata-rata masih dibawah standar yang dipersyaratkan, dimana nilai THD tegangan berada di bawah 5%, dan nilai THD Arus berada dibawah 5%. Artinya kualitas daya sisi tegangan dan Arus sudah baik.

4.2 Pemeriksaan Reliability pada Peralatan Auxillary Kategori SEUs

Selain melakukan evaluasi *performance* (unjuk kerja) energi pada peralatan utama pada Auxillary pembangkit yang masuk dalam daftar peralatan pengguna energi terbesar (SEUs) di pembangkit, maka pemeriksaan *reliability* (dalam hal ini vibrasi dan termografi) pada motor-motor dan peralatan bergerak (*rotary equipment*) peralatan SEUs juga penting dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi apabila ditemukan, apakah penyebab *de-rating* atau penurunan efisiensi berhubungan dengan kondisi kehandalan peralatan putar tersebut. Adapun pengguna energi terbesar di PLTP Patuha unit 1 antara lain adalah: *Liquid Ring Vacuum Pump* (LRVP), *Hot Well Pump* (HWP) dan *Cooling Tower Fan* (CT Fan).

4.2.1 Evaluasi Unjuk Kerja dan Pemeriksaan Reliability Unit

4.2.1.1 Evaluasi terhadap Kondisi Thermal

Evaluasi Thermografi:

Untuk melakukan pemeriksaan terhadap kondisi termal pada masing-masing peralatan, maka digunakan data *thermography Inspection Report* yang di lakukan PLTP Patuha pada bulan Januari sampai dengan April 2021 yang secara rutin dilakukan oleh team PLTP Patuha. Data yang disampaikan dalam laporan ini adalah data hasil *thermography inspection report* PLTP Patuha yang kemudian data tersebut dilakukan evaluasi dan analisis terhadap kondisi yang ada. Kondisi *thermography* yang ditampilkan dalam

laporan audit ini adalah kondisi *thermography* pada peralatan SEUs, untuk melihat kehandalan (*reliability*) peralatan SEUs tersebut. Peralatan thermal imager yang digunakan adalah produk *Flir* dengan referensi standar inspeksi *thermography* sebagai berikut:

Alarm Winding Reference			
Normal	Monitoring	Warning	Repair ASAP
<60	60 - 80	80 - 105	105 - 115

Alarm Bearing Reference			
Normal	Monitoring	Warning	Repair ASAP
<60	60 - 80	80 - 90	90 - 100

Referensi: NEMA MG-2009 (12.43), *Temperature Rise for induction Motors*

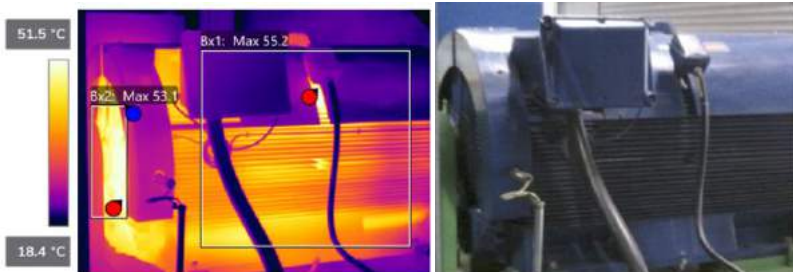
12.43 TEMPERATURE RISE FOR MEDIUM SINGLE-PHASE AND POLYPHASE INDUCTION MOTORS

Berikut adalah beberapa gambaran hasil pengukuran *thermography* pada peralatan pengguna energi utama di PLTP Patuha unit 1 berdasarkan data bulan Maret 2021:

1. Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP) B

Analisis *thermography* dalam rangka mengukur kehandalan (*realibility*) unit LRVP-A dilakukan pada motor dan *bearing* pompa dengan hasil sebagai berikut:

a. LRVP B Motor

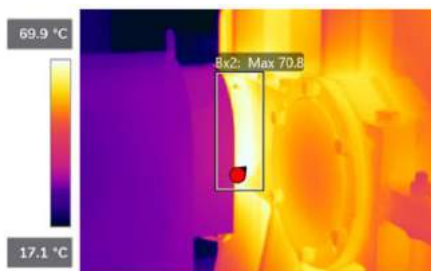


Hasil:

Hasil pengukuran thermal LRVP-B pada sisi Motor adalah dengan nilai maksimal 55,2°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temperature* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C).

b. LRVP B Bearing Gear Box HS



Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* LRVP-B pada *Bearing Gear Box* HS adalah dengan nilai maksimal 70,8°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi alarm *bearing temp* harus dilakukan pemantauan/ monitoring secara rutin. (temp 60 – 80 °C).

c. LRVP B Bearing Gear Box LS



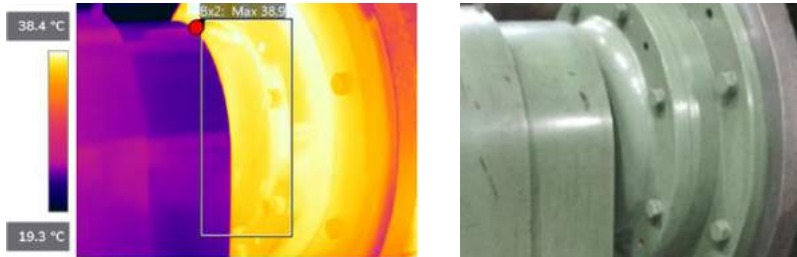
Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* LRVP-B pada *Bearing Gear Box* LS adalah dengan nilai maksimal 63,6°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa

kondisi alarm *bearing temp* harus dilakukan pemantauan/
monitoring secara rutin. (temp 60 – 80 °C)

d. LRVP B Bearing Pump



Hasil:

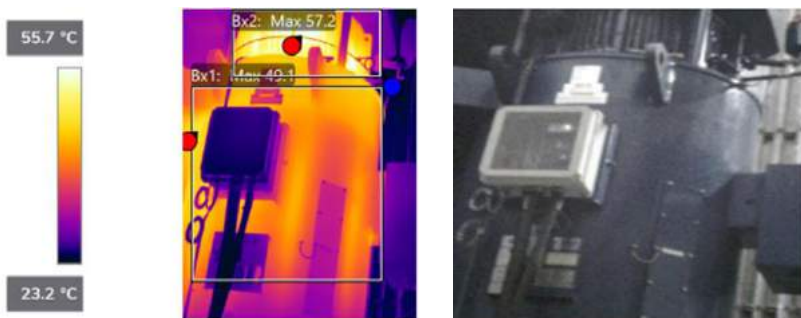
Hasil pengukuran thermal LRVP-B pada *Bearing pump* adalah dengan nilai maksimal 38,9°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi alarm *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C)

2. Hot Well Pump (HWP) A

Analisis *thermography* dalam rangka mengukur kehandalan unit HWP-A dilakukan pada motor dan *bearing* pompa dengan hasil sebagai berikut:

a. HWP A Motor

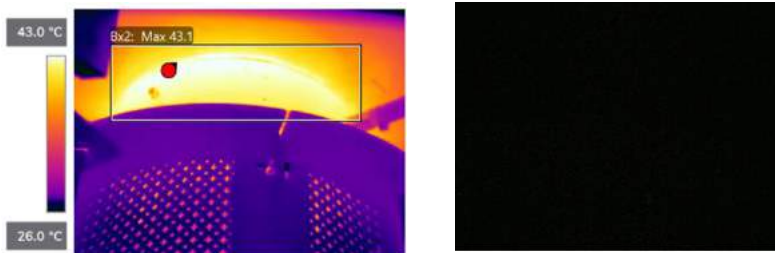


Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* HWP-A pada sisi Motor adalah dengan nilai rata-rata sebesar 49,1°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C)

b. HWP A Bearing



Hasil:

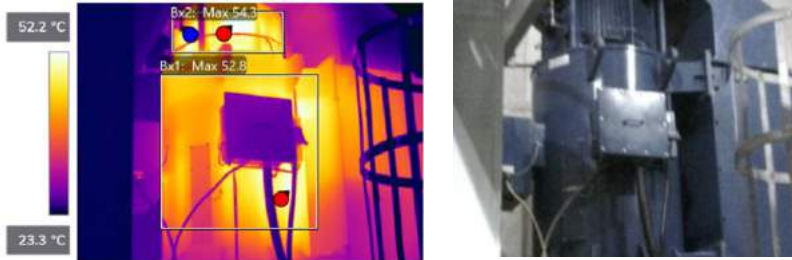
Hasil pengukuran *thermal* HWP-A pada sisi *bearing* adalah dengan nilai maksimal sebesar 43,1°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C)

3. Hot Well Pump (HWP) B

Analisis *thermography* dalam rangka mengukur kehandalan unit HWP-B dilakukan pada motor dan *bearing* pompa dengan hasil sebagai berikut:

a. **HWP B Motor**

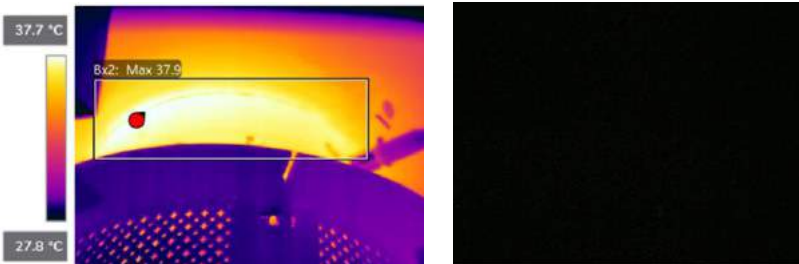


Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* HWP-B pada sisi Motor adalah dengan nilai rata-rata sebesar 52,8°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C)

b. **HWP B Bearing**



Hasil:

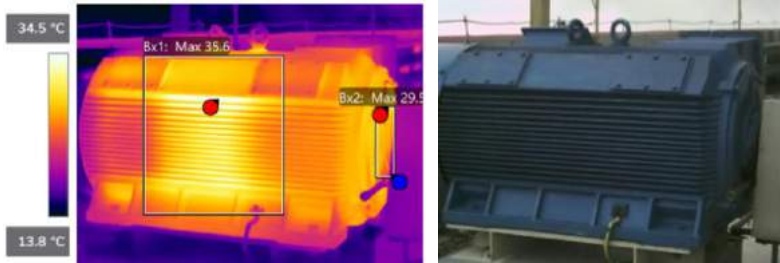
Hasil pengukuran *thermal* HWP-B pada sisi bearing adalah dengan nilai maksimal sebesar 37,9 °C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C)

4. **Cooling Tower Fan (CT Fan)**

Analisis *thermography* dalam rangka mengukur kehandalan unit CT Fan dilakukan pada motor dengan hasil sebagai berikut:

a. CT Fan A

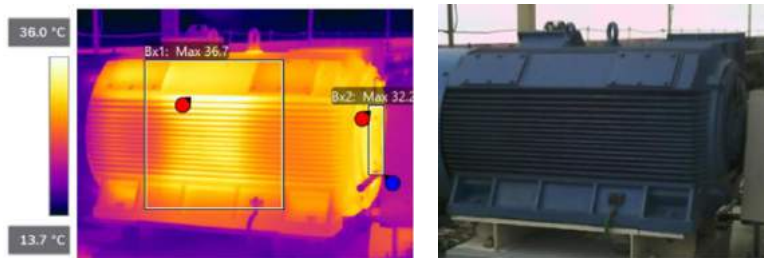


Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* CT Fan-A pada sisi Motor adalah dengan nilai max sebesar 35,6°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C).

b. CT Fan B

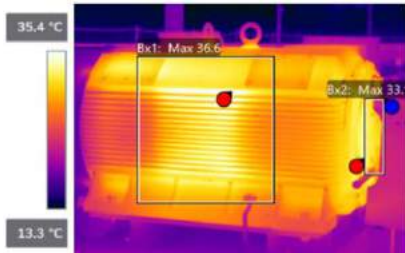


Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* CT Fan-B pada sisi Motor adalah dengan nilai max sebesar 36,7°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C).

c. **CT Fan C**

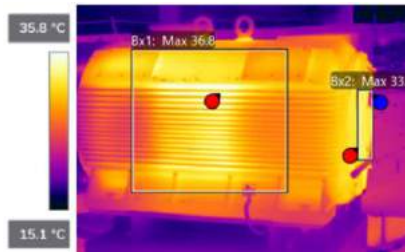


Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* CT Fan-C pada sisi Motor adalah dengan nilai max sebesar 36,6°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C)..

d. **CT Fan D**

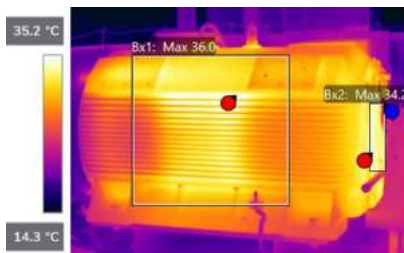


Hasil:

Hasil pengukuran *thermal* CT Fan-D pada sisi Motor adalah dengan nilai max sebesar 36,8°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C).

e. CT Fan E



Hasil:

Hasil pengukuran *thermal CT* Fan-E pada sisi Motor adalah dengan nilai rata-rata sebesar 36,0°C.

Dari referensi standar NEMA MG-2009 (12.43) diketahui bahwa kondisi *alarm winding* dan *bearing temp* masih dalam kondisi normal (Temp <60 °C).

Jika dilihat dari data pengukuran *thermography* dengan membandingkan beberapa pengukuran pada masing-masing periode, maka dapat dibuat analisis dan rekomendasi aksi sebagaimana yang ditampilkan pada tabel 4.8.

Dari tabel 4.8 terlihat kondisi *thermal* pada peralatan SEU's di PLTP Patuha relatif stabil, dengan nilai pengukuran termal pada peralatan berfluktuasi naik dan turun setiap bulannya. Hal ini bisa saja dipengaruhi kondisi beban peralatan dan kondisi udara *ambient* pada saat dilakukan pengukuran.

4.2.1.2 Evaluasi terhadap Kondisi Vibrasi

Evaluasi Vibrasi:

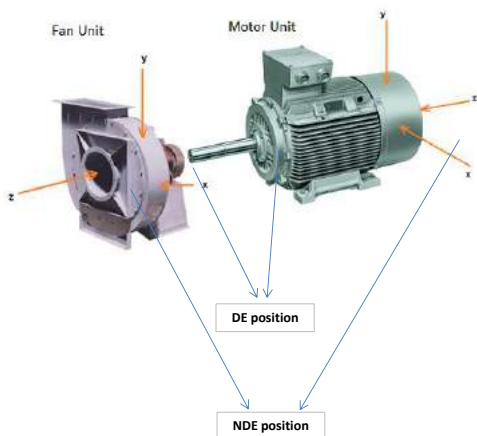
Pengamatan vibrasi dari sistem unit peralatan *rotating equipment* dilakukan pada posisi *drive end* (dekat dengan *driver*/penggerak) dan *non-drive end* (jauh dari *driver*/ penggerak). Gambar 4.13 memperlihatkan posisi *Drive End* (DE) dan *Non-Drive End* (NDE) titik pengukuran pada unit motor dan *fan*.

Tabel 4.8 Kondisi *thermography* peralatan SEU's di PLTP Patuha Unit-1 periode Jan – April 2021

PLTP Patuha Unit 1							
No	Unit	Kondisi Thermografi Peralatan SEU's					
		Δ T Motor (Max. Celcius)				Analysis	Recommended Action
		Jan-21	Feb-21	Mar-21	Apr-21		
1	Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP) A						
i	LRVP A Motor	57,1	52,3	-	-	Temperature relatif stabil dengan adanya penurunan nilai temp terukur dibanding periode sebelumnya	Normal
ii	LRVP B Motor	-	-	55,2	54,8	Temperature relatif stabil dengan adanya penurunan nilai temp terukur dibanding periode sebelumnya	Normal
iii	LRVP A Bearing Gear Box HS	69,6	74,4	-	-	Terjadi kenaikan nilai temperature dibanding periode sebelumnya	Monitoring
iv	LRVP B Bearing Gear Box HS	-	-	70,8	70,5	Relatif sama dengan sebelumnya	Monitoring
v	LRVP A Bearing Gear Box LS	60,0	62,2	-	-	Terjadi kenaikan nilai temperature dibanding periode sebelumnya	Monitoring
vi	LRVP B Bearing Gear Box LS	-	-	63,6	-	Nilai temperature relatif tinggi	Monitoring
vii	LRVP A Bearing Pump	40,0	39,1	-	-		Normal
viii	LRVP B Bearing Pump	-	-	38,9	-		Normal
2	Hot Well Pump (HWP) A						
i	HWP A Motor	53,1	39,3	49,1	46,3	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
ii	HWP A Bearing	39,5	45,3	43,1	42,7	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
3	Hot Well Pump (HWP) B						
i	HWP B Motor	54,0	45,6	52,8	52,5	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
ii	HWP B Bearing	39,5	37,6	37,9	36,1	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
4	Cooling Tower Fan (CT Fan)						
i	CT Fan A	36,4	37,1	29,5	35,1	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
ii	CT Fan B	33,3	36,4	32,2	36,2	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
iii	CT Fan C	32,9	35,2	33,1	33,8	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
iv	CT Fan D	34,0	35,7	33,6	33,2	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal
v	CT Fan E	34,8	35,3	34,2	33,2	Temperature relatif stabil/kondisi normal	Normal

Sumber: Laporan *thermography inspection report* PLTP Patuha Periode Jan-April 2021

Referensi: NEMA MG-2009 (12.43)



Gambar 4.13. Titik Pengukuran Vibrasi pada posisi Drive End (DE) dan Non Drive End (NDE)

Standar vibrasi mengacu pada ISO 10816-3. Sebaiknya motor tidak melebihi standar kategori range B agar beroperasi dengan baik. Gambar 4.14 menunjukkan standar vibrasi berdasarkan referensi ISO 10816-3 dan ISO 10816-7 pada type pompa :

DIN ISO 10816-3	Group 1		Group 2		DIN ISO 10816-7	Category 1	Category 2	
Machine type	Large machines 300 kW < P < 50 MW		Medium sized machines 15 kW < P < 300 kW		Pump type	Rotodynamic pumps with high reliability, availability or security requirements	Rotodynamic pumps for general or less critical applications.	r < 600 rpm
Foundation	flexible	rigid	flexible	rigid	Power	< 200 kW	> 200 kW	0.5 rpm 1.0 rpm 2.0 rpm
Velocity v_{eff} mm/s rms					Velocity v_{eff}	7,6	9,5	Displacement s_{TPE}
10-1000 Hz $r > 600$ rpm					6,5	8,5	130 80 50 µm	
2-1000 Hz 120 < r < 600 rpm					5,0	6,1		
					4,0	5,1		
					3,5	4,2		
					2,5	3,2		
					1,4			

Gambar 4.14. Referensi vibrasi standar, ISO 10816-3 dan ISO 10816-7

Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa sesuai standart ISO 10816-3 untuk getaran di katagorikan kepada 4 zona yaitu :

1. **Zona A berwarna biru**, getaran dari mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diijinkan.
2. **Zona B berwarna hijau**, getaran dari mesin baik dan dapat dioperasikan tanpa larangan.
3. **Zona C berwarna kuning**, getaran dari mesin dalam batas toleransi dan hanya dioperasikan dalam waktu terbatas.
4. **Zona D berwarna merah**, getaran dari mesin dalam batas berbahaya dan dapat terjadi kerusakan sewaktu-waktu

Hasil Evaluasi Kondisi Vibrasi:

1. *Cooling Tower Fan*

Hasil dari analisis data vibrasi yang ada, dengan menggunakan analisis berdasarkan ISO 10816-3, maka dapat di rangkumkan sebagai berikut:

CT Fan - 160 kW

11/02/2021

Machine Name	Poin Name	Last value (mm/s)	Previous value (mm/s)	change (%)	Batas Toleransi Zona				Status (Zona)
					A	B	C	D	
CT FAN-E	GEARBOX HS	0,721	0,720	0,0159	0 - 1,4 mm/s	1,4 - 2,8 mm/s	2,8 - 4,5 mm/s	> 4,5 mm/s	Zona A
CT FAN-E	GEARBOX LS	1,039	1,096	-5,23					Zona A
CT FAN-E	MOTOR DE A	0,576	0,632	-9					Zona A
CT FAN-E	MOTOR DE V	1,512	1,539	-1,76					Zona B
CT FAN-E	MOTOR DE H	0,743	1,264	-41,3					Zona A
CT FAN-E	MOTOR NDE A	0,452	0,353	28,3					Zona A
CT FAN-E	MOTOR NDE V	1,665	2,561	-35					Zona B
CT FAN-E	MOTOR NDE H	1,034	0,833	24,1					Zona A
CT FAN-D	GEARBOX HS	0,852	0,860	-0,834					Zona A
CT FAN-D	GEARBOX LS	1,396	1,308	6,73					Zona A
CT FAN-D	MOTOR DE A	0,480	0,555	-13,6					Zona A
CT FAN-D	MOTOR DE V	1,078	1,145	-5,84					Zona A
CT FAN-D	MOTOR DE H	1,184	1,018	16,3					Zona A

Evaluasi Pemanfaatan Energi
PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha

Machine Name	Poin Name	Last value (mm/s)	Previous value (mm/s)	change (%)	Batas Toleransi Zona				Status (Zona)
					A	B	C	D	
CT FAN-D	MOTOR NDE A	0,406	0,399	1,65					Zona A
CT FAN-D	MOTOR NDE V	2,210	1,799	22,8					Zona B
CT FAN-D	MOTOR NDE H	0,926	0,573	61,8					Zona A
CT FAN-C	GEARBOX HS	0,817	0,762	7,28					Zona A
CT FAN-C	GEARBOX LS	0,717	0,642	11,7					Zona A
CT FAN-C	MOTOR DE A	0,496	0,481	3,25					Zona A
CT FAN-C	MOTOR DE V	0,706	1,564	-54,8					Zona A
CT FAN-C	MOTOR DE H	0,778	1,475	-47,3					Zona A
CT FAN-C	MOTOR NDE A	0,360	0,348	3,46					Zona A
CT FAN-C	MOTOR NDE V	1,092	1,554	-29,7					Zona B
CT FAN-C	MOTOR NDE H	0,854	1,111	-23,1					Zona A
CT FAN-B	GEARBOX HS	0,003	0,003	8,45					Zona A
CT FAN-B	GEARBOX LS	0,736	0,864	-14,8					Zona A
CT FAN-B	MOTOR DE A	0,606	0,723	-16,2					Zona A
CT FAN-B	MOTOR DE V	1,143	1,373	-16,8					Zona A
CT FAN-B	MOTOR DE H	1,334	1,351	-1,26					Zona A
CT FAN-B	MOTOR NDE A	0,606	0,543	11,7					Zona A
CT FAN-B	MOTOR NDE V	2,567	2,701	-4,98					Zona B
CT FAN-B	MOTOR NDE H	1,288	1,279	0,722					Zona A
CT FAN-A	GEARBOX HS	0,976	0,962	1,51					Zona A
CT FAN-A	GEARBOX LS	1,852	2,045	-9,43					Zona B
CT FAN-A	MOTOR DE A	0,706	0,841	-16,1					Zona A
CT FAN-A	MOTOR DE V	1,707	2,338	-27					Zona B
CT FAN-A	MOTOR DE H	1,092	1,232	-11,3					Zona A
CT FAN-A	MOTOR NDE A	0,691	0,593	16,6					Zona A
CT FAN-A	MOTOR NDE V	1,085	1,519	-28,6					Zona B
CT FAN-A	MOTOR NDE H	1,797	1,474	21,9					Zona B

Hasil:

Evaluasi vibrasi tipe Motor Fan, mengacu pada referensi vibrasi ISO 10816-3, menunjukkan unit CT Fan masuk dalam kategori (kelas) Group 2 (15 kW < P < 300 MW), dengan *support* pondasi jenis *rigid* (tidak bergerak dan tidak ada peredam). Dari hasil pengukuran vibrasi diatas, diketahui bahwa unit motor CT Fan

masuk dalam kategori *range* A , dan beberapa kondisi masuk katagori *range* B (Hijau), dimana pada katagori ini getaran dari mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diijinkan dan dapat dioperasikan tanpa larangan

2. Hot Well Pump (HWP)

Hasil dari analisis data vibrasi yang ada, dengan menggunakan analisis berdasarkan ISO 10816-3, maka dapat di rangkumkan sebagai berikut:

Hot Well Pump – 550 kW

11/02/2021

Machine Name	Poin Name	Last value (mm/s)	Previous value (mm/s)	change (%)	Batas Toleransi Zona				Status (Zona)
					A	B	C	D	
HWP-B	MOTOR DE A	0,697	0,616	13,1	0 - 3,5 mm/s	3,5 - 5 mm/s	5 - 7,6 mm/s	> 7,6 mm/s	Zona A
HWP-B	MOTOR DE V	1,131	0,958	18					Zona A
HWP-B	MOTOR DE H	1,234	0,957	28,9					Zona A
HWP-B	MOTOR NDE A	0,944	0,861	9,69					Zona A
HWP-B	MOTOR NDE V	1,308	0,995	31,5					Zona A
HWP-B	MOTOR NDE H	0,864	0,912	-5,29					Zona A
HWP-A	MOTOR DE A	0,420	0,520	-19,1					Zona A
HWP-A	MOTOR DE V	1,093	0,793	37,9					Zona A
HWP-A	MOTOR DE H	0,630	0,650	-3,13					Zona A
HWP-A	MOTOR NDE A	0,969	0,726	33,5					Zona A
HWP-A	MOTOR NDE V	0,579	0,597	-2,95					Zona A
HWP-A	MOTOR NDE H	0,716	0,677	5,67					Zona A

Hasil:

Evaluasi vibrasi tipe pompa, mengacu pada referensi vibrasi ISO 10816-3, menunjukkan unit HWP masuk dalam kategori 1 (P > 200 kW), dengan *high reliability*. Dari hasil pengukuran vibrasi diatas, diketahui bahwa unit HWP masuk dalam kategori *range* A , dimana pada katagori ini getaran dari mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diijinkan dan dapat dioperasikan tanpa larangan.

3. *Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP)*

Hasil dari analisis data vibrasi yang ada, dengan menggunakan analisis berdasarkan ISO 10816-3, maka dapat di rangkumkan sebagai berikut:

Liquid Ring Vacuum Pump -590 kW

24/02/2021

Machine Name	Poin Name	Last value (mm/s)	Previous value (mm/s)	change (%)	Batas Toleransi Zona				Status (Zona)
					A	B	C	D	
LRVP-B	GB LS #4 A	0,885	0,990	-10,6	0 - 3,5 mm/s	3,5 - 5 mm/s	5 - 7,6 mm/s	> 7,6 mm/s	Zona A)
LRVP-B	GB LS #4 V	1,154	1,060	8,83					Zona A
LRVP-B	GB LS #4 H	1,381	0,990	39,5					Zona A
LRVP-B	GB LS #3 A	1,183	1,009	17,2					Zona A
LRVP-B	GB LS #3 V	1,042	0,939	11					Zona A
LRVP-B	GB LS #3 H	0,770	0,966	-20,3					Zona A
LRVP-B	GB HS #2 A	1,376	0,873	57,7					Zona A
LRVP-B	GB HS #2 V	1,115	0,827	34,9					Zona A
LRVP-B	GB HS #2 H	1,104	0,994	11					Zona A)
LRVP-B	GB HS #1 A	0,813	0,814	-0,16					Zona A
LRVP-B	GB HS #1 V	1,674	1,239	35,2					Zona A
LRVP-B	GB HS #1 H	0,823	0,723	13,8					Zona A
LRVP-B	PUMP NDE A	0,524	0,752	-30,3					Zona A
LRVP-B	PUMP NDE V	1,160	0,908	27,8					Zona A
LRVP-B	PUMP NDE H	0,899	0,982	-8,47					Zona A
LRVP-B	PUMP DE A	0,969	0,709	36,6					Zona A
LRVP-B	PUMP DE V	1,153	0,933	23,6					Zona A
LRVP-B	PUMP DE H	0,991	0,908	9,24					Zona A
LRVP-B	MOTOR DE A	1,283	0,997	28,8					Zona A
LRVP-B	MOTOR DE V	0,779	0,671	16,2					Zona A
LRVP-B	MOTOR DE H	1,800	2,660	-32,3					Zona A
LRVP-B	MOTOR NDE A	0,320	0,290	10,2					Zona A
LRVP-B	MOTOR NDE V	0,798	0,916	-12,9					Zona A
LRVP-B	MOTOR NDE H	1,582	1,293	22,3					Zona A

Liquid Ring Vacuum Pump -590 kW

24/02/2021

Machine Name	Poin Name	Last value (mm/s)	Previous value (mm/s)	change (%)	Batas Toleransi Zona				Status (Zona)
					A	B	C	D	
LRVP-A	GB LS #4 A	1,403	1,008	39,2					Zona A
LRVP-A	GB LS #4 V	1,337	1,069	25,1					Zona A
LRVP-A	GB LS #4 H	0,655	0,618	6,01					Zona A
LRVP-A	GB LS #3 A	1,381	1,261	9,54					Zona A
LRVP-A	GB LS #3 V	1,044	1,162	-10,2					Zona A
LRVP-A	GB LS #3 H	0,791	0,720	9,8					Zona A
LRVP-A	GB HS #2 A	1,041	0,916	13,7					Zona A
LRVP-A	GB HS #2 V	1,603	1,616	-0,79					Zona A
LRVP-A	GB HS #2 H	0,739	0,882	-16,2					Zona A
LRVP-A	GB HS #1 A	1,013	1,336	-24,2					Zona A
LRVP-A	GB HS #1 V	2,169	2,134	1,6					Zona A
LRVP-A	GB HS #1 H	1,747	1,273	37,3					Zona A
LRVP-A	PUMP NDE A	0,496	0,610	-18,7					Zona A
LRVP-A	PUMP NDE V	0,702	0,870	-19,4					Zona A
LRVP-A	PUMP NDE H	0,769	0,938	-18					Zona A
LRVP-A	PUMP DE A	0,554	0,486	14,1					Zona A
LRVP-A	PUMP DE V	0,755	0,754	0,116					Zona A
LRVP-A	PUMP DE H	0,568	0,604	-5,96					Zona A
LRVP-A	MOTOR DE A	2,569	0,920	179					Zona A
LRVP-A	MOTOR DE V	1,445	0,687	110					Zona A
LRVP-A	MOTOR DE H	1,645	1,328	23,9					Zona A
LRVP-A	MOTOR NDE A	0,773	0,474	62,9					Zona A
LRVP-A	MOTOR NDE V	1,721	1,412	21,9					Zona A
LRVP-A	MOTOR NDE H	1,649	0,969	70,1					Zona A

Hasil:

Evaluasi vibrasi tipe pompa, mengacu pada referensi vibrasi ISO 10816-3, menunjukkan unit LRPV masuk dalam kategori 1 (P >200 kW), dengan *high reliability*. Dari hasil pengukuran vibrasi

didasar, diketahui bahwa unit LRPV masuk dalam kategori *range A*, dimana pada katagori ini getaran dari mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diijinkan dan dapat dioperasikan tanpa larangan.

4.3. Evaluasi Peralatan Pengguna Utama Energi di Pembangkit

Berdasarkan tinjauan status energi yang telah dibahas di bab 3, maka peralatan pengguna utama energi (*own used*) di PLTP Patuha Unit 1 terdiri atas:

- **Hot Well Pump** (Prioritas SEU 1)
- **LRVP** (Prioritas SEU 1)
- **Cooling Tower Fan** (Prioritas SEU 1)
- **Pompa Auxillary Cooling/ ACWP** (Prioritas SEU 2)
- **Pompa Re-Injeksi** (Prioritas SEU 2)
- **Pompa Raw Water Intake** (Prioritas SEU 2)

Selain peralatan penggunaan sendiri (*own used*) tersebut, maka sebagai pengkonversi energi utama dari energi termal (uap panas) menjadi energi listrik yaitu *Steam Turbine Generator* akan dievaluasi performanya.

4.3.1. Steam Turbine Generator

4.3.1.1 Metodologi Steam Turbine Generator

Steam turbine berfungsi sebagai penggerak generator untuk menghasilkan energi listrik dengan sumber energi dari steam. *Steam turbine* mengkonversi energi thermal *steam* menjadi energi mekanis poros. Generator mengkonversi energi mekanis poros menjadi energi listrik.

Steam Turbine di PLTP Patuha Unit 1 dengan jenis *full condensing turbine* terdiri atas 2 sisi *chamber* (α dan β) yang semuanya tergabung dalam satu poros dengan generator, dengan *steam* langsung berubah menjadi *exhaust steam*. Kapasitas generator

(*rated power output*) adalah sebesar 59.88 MW. Berikut spesifikasi *Steam Turbine Generator* di PLTP Patuha Unit 1 (gambar 4.15):



GENERATOR



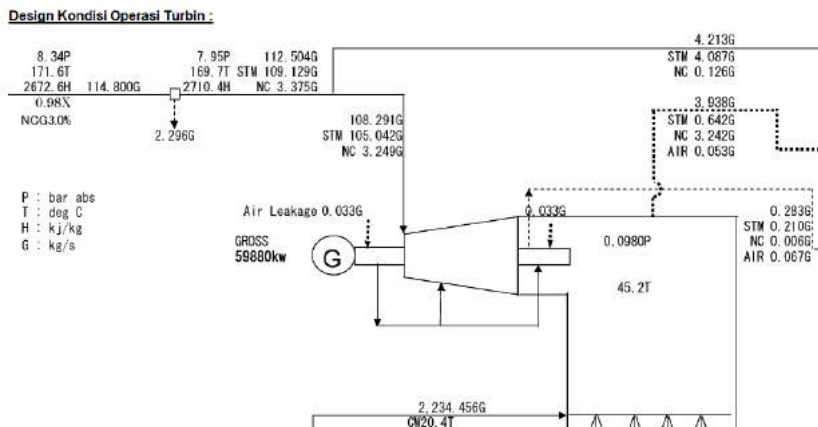
- Rated Capacity: 75 MVA
- Rated Voltage : 15 kV
- Rated current : 2887 A
- Rated PF : 0.8 lagging
- Rated Speed : 3000 rpm
- Type of Cooling:
 - Stator Winding – Indirect Air cooled
 - Stator Core – Direct Air cooled
 - Rotor – Direct Air cooled
- Applied Std : IEC 60034-1
- Manufacturer : TMEIC

Gambar 4.15 Spesifikasi *design steam turbine generator*

Gambar 4.16 memperlihatkan kondisi operasi *Steam Turbine* di PLTP Patuha Unit 1:

Steam yang masuk ke turbin dari 2 sisi (kanan dan kiri) dengan mempunyai tekanan 7.95 barA dengan temperatur 169.7 °C. *Flowrate steam inlet* turbin sekitar 108.29 kg/s dengan komposisi *steam* (air) sebesar 96.98% dan NCG sebesar 3.02%. Tekanan *exhaust steam* dari turbin di kondenser berkisar 0.098 bar dengan temperatur 45.2 °C yang didinginkan dengan *water cooling tower* dengan temperatur 20.4 °C (tergantung temperatur *wet bulb* udara

ambient/ lingkungan sekitar) dan *flowrate Cooling water* dari *cooling tower* sebesar 2234.5 kg/s.



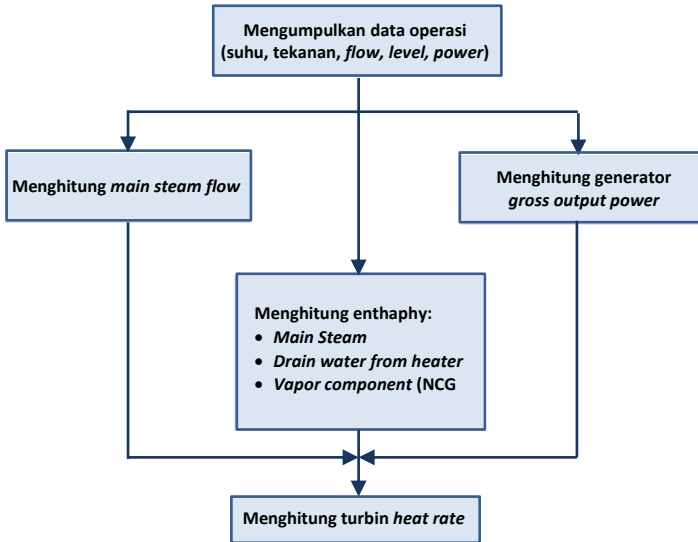
Gambar 4.16 Kondisi operasi (*design*) steam turbine generator

Berikut ini skema proses dan metodologi perhitungan efisiensi dan *heat rate turbine* di Pembangkit PLTP Patuha Unit 1:

• **Standar Evaluasi:**

Standar yang digunakan untuk test performa *Steam Turbine Generator* ini mengikuti standar ASME yaitu: ASME PTC 4-2008 *Performance Test Code : Fired Steam Generators* dan PTC 6S-1988 “*Procedure for Routine Performance test of Steam Turbines*”.

Secara skematik diagram, maka langkah-langkah untuk menghitung Efisiensi dan *Turbine Heat rate* (THR) dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Skematik diagram langkah-langkah menghitung *turbine heat rate*

4.3.1.2. Data dan Fakta *Steam Turbine Generator*

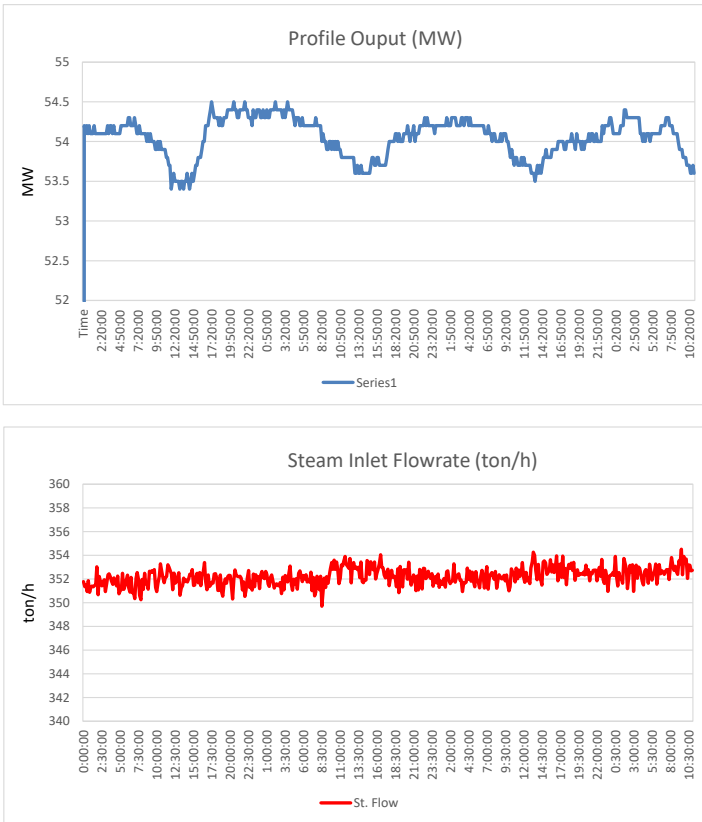
Data-data pengamatan dan pengukuran di *Steam Turbine Generator* selama survey adalah sebagai berikut:

Data Operasi Steam Turbine Patuha Unit 1

Tanggal Survey : 22 - 24 Maret 2021

No.	Parameter	Satuan	Kondisi Operasi	
			Malam	Siang
1	Turbine Inlet Steam Temp. (avg)	°C	169.2	169.3
2	Turbine Inlet Steam Press. (avg)	barA	7.16	7.16
3	Steam Flowrate	ton/h	351.8	352.5
4	Turbine Exhaust Steam Temp. (avg)	°C	45.9	47.9
5	Turbine Exhaust Steam Press (avg)	mbarA	0.1865	0.1898
6	Generator Gross Output Power	MW	54.24	53.73

Profil *Output Generator* dan *Steam Inlet flowrate* dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18. Profil *Output Generator* dan *Steam Inlet flowrate*

4.3.1.3. Evaluasi Performa *Steam Turbine Generator*

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 22 – 24 Maret 2021 dengan 2 (dua) *load* yaitu saat malam hari (jam 00.00 – 06.00) dan siang hari (jam 08.00 – 16.00). Seperti telah dijelaskan pada bagian metodologi diatas, bahwa penilaian performa *Steam Turbine Generator* adalah sebagai berikut:

Heat rate steam turbine merupakan salah satu tolok ukur unjuk kerja steam turbine. *Steam turbine heat rate* (HR) di rumuskan:

$$\text{St.Turbine HR} = \frac{(\text{Flow Steam in} \times (\text{H St.in} - \text{H Exh.out}))}{\text{Power} \times 100\%}$$

Hasil penghitungan *steam turbin heat rate* (HR) dari neraca massa energi yang telah dibuat diatas adalah sbb:

Evaluasi Performa STG

No.	Parameter	Satuan	Kondisi Operasi	
			Malam	Siang
1	Entahpy Inlet Flow	GJ/h	973.8	975.6
2	Enthalpy Exhaust Flow	GJ/h	67.63	70.69
3	Total Energy absorbed by Turbine	GJ/h	906.2	904.9
4	Power Generator output	GJ/h	195.2	193.4
5	Steam Turbin Generator Efficiency	%	21.5%	21.4%
6	Design STG Efficiency	%	22.1%	22.1%
7	Gap (Design - Aktual)	%	0.6%	0.7%
8	% Gap (derating performa)	%	2.5%	3.3%

Kesimpulan Performa Steam Turbine Generator PLTP Patuha Unit 1 (*kondisi malam dan siang hari*) adalah:

Dari perhitungan performa STG Patuha (*malam dan siang*) sesuai Tabel diatas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Flowrate steam inlet* pada kondisi malam hari sedikit lebih tinggi, dan *power output generator* juga sedikit lebih tinggi dibanding pada siang hari;
2. Performa (efisiensi) STG pada malam hari sedikit lebih baik dengan gap terhadap design hanya sekitar 0.6% sedangkan pada siang hari efisiensi sedikit lebih rendah dengan gap terhadap design mencapai 0,7%. Dengan kondisi itu ada sedikit penurunan efisiensi terhadap design sebesar 2,5% pada malam hari dan 3.3% pada siang hari.
3. Penyebab kondisi performa STG pada kondisi malam hari yang lebih tinggi dibanding pada siang hari adalah:
 - *Flowrate steam inlet* rerata sedikit lebih baik pada malam hari
 - Tingkat kevakuman *condenser* lebih baik pada malam hari karena temperature wet bulb ambient yang lebih rendah

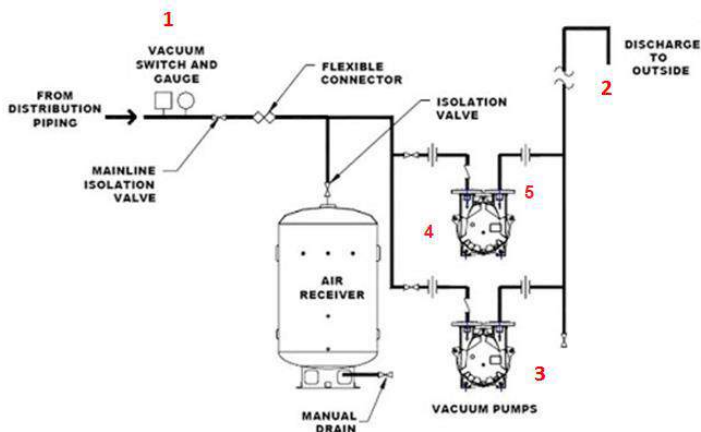
sehingga mengakibatkan performa *vacuum condenser* lebih optimal.

4. Secara keseluruhan, performa (efisiensi) *Steam Turbin Generator* (STG) di PLTP Patuha Unit 1 masih dalam kondisi yang baik dengan merujuk pada design masih tidak terpaut jauh/signifikan.

4.3.2. *Liquid Ring Vacuum Pump* (LRVP)

4.3.2.2. Metodologi LRVP

Pompa *vacuum* LRVP di PLTP Patuha Unit 1 merupakan suatu sistem yang sangat penting untuk keperluan proses pengkondisian vakum *unit condenser* dan juga sebagai pembuangan NCG dari ke *Cooling Tower* sebelum akhirnya dibuang ke atmosfer. Peralatan utama dari *vacuum system* adalah pompa *vacuum*, dimana merupakan salah satu kategori peralatan yang merupakan pengkonsumsi energi yang besar disamping peralatan kritis/penting (*important equipments*) di dalam proses pembangkitan listrik di PLTP. Metodologi evaluasi penghitungan unjuk kerja (*performance*) pompa *vacuum* LRVP dapat dijelaskan pada uraian berikut ini (gambar 4.19):



Gambar 4.19 Diagram sistem kerja dan energi di pompa *vacuum*

Evaluasi performa pompa *vacuum* ditunjukkan dengan *Thermal efficiency* yang dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (J.L. Ryans, 1986);

$$E = \frac{\text{theoretical adiabatic horsepower (hp)}}{\text{actual brake horsepower (bhp)}} \times 100\%$$

Dimana:

$$\text{Adiabatic hp} = \frac{k}{k-1} \frac{w R T}{M (550) (3600)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

bhp = electric consume of motor pump (kW) / 0.746 * motor efficiency
* motor efficiency get from nameplate

Keterangan simbol :

w = mass flowrate of vacuum gas, in lb/hr.

k = ratio of C_p/C_v of vacuum gas

M = molecular weight

R = gas constant, 1544 ft.lbf/(lb.mol)(°R)

T = absolute temperatur condition, in °R (Rankine degree)

P = absolute pressure, in torr (1 bar eq. 760 torr)

Data-data yang diukur dalam pengamatan pompa *vacuum* untuk melakukan evaluasi performa dapat dilihat pada tabel 4.9;

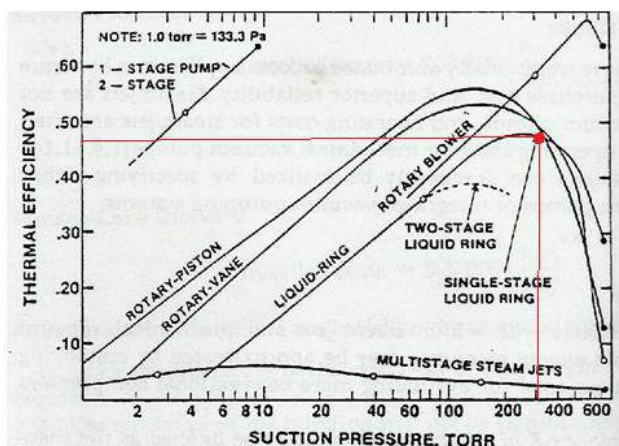
Tabel 4.9 Data pengamatan dan pengukuran yang diambil pada evaluasi performa pompa *vacuum* LRVP

No.	Data	Keterangan
1	Temp. vacuum gas (T) & Pressure suction (P1) & discharge vacuum pump (P2)	- Pengukuran Temperature dari IR thermometer (point 1) - Pressure suction dari Pressure gauge (point 1) & Pressure discharge dari data DCS CCR
2	Vacuum gas mass flowrate (w)	Dari DCS CCR

3	Konsumsi listrik dari motor vacuum pump	Pengukuran power quality analyzer di MCC
4	Termografi	Pengukuran data termografi unit motor (data PdM)
5	Vibration	Pengukuran Vibration motor dan vacuum pump (data PdM) untuk evaluasi keandalan (<i>reability evaluation</i>)

Benchmark:

Benchmark atau data referensi hasil evaluasi performa LRPV kemudian dibandingkan dengan data design, jika tidak ada maka akan merujuk pada benchmark umum untuk pompa vacuum pada berbagai seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.20:



Gambar 4.20 *Benchmark* umum performa pompa vacuum
 Sources :“Process Vacuum System Design and Operation”, J.L. Ryans, D.L. Roper, McGraw-Hill,1986.

Acuan (*benchmark*) pembanding kurva diatas adalah kurva secara umum (*general*) untuk beberapa jenis pompa vacuum pada dekade tahun 1980-an, tidak tergantung pada teknologi yang digunakan oleh manufakturnya. Dengan berkembangnya teknologi material dan presisi proses manufaktur, efisiensi pompa vacuum berkembang lebih baik pada saat ini. Biasanya manufaktur pompa

vacuum memiliki standar *curve pump-vacuum* sendiri yang disesuaikan dengan tipe dan jenisnya. Apabila *vacuum pump* memiliki kurva performa sebagai acuan, maka akan dipakai sebagai *benchmark* dan basis perhitungan *design (basic design)* pompa *vacuum* tersebut.

4.3.2.3. Data dan Fakta LRVP

Data-data pengamatan dan pengukuran di *vacuum pump* LRVP (Unit B) yang *running* saat survey adalah sebagai berikut:

Kondisi Design Vacuum Pump LRVP-B

Spesifikasi desain Pompa LRVP adalah sebagai berikut:

Spesification LRVP

Merk.: Tsurumi Pump- Japan

rpm (1/min)	P ¹ (kpa.A)	P ² (kPa.A)	V (m ³ /min)	Mech.Power (kW)	Elec. Power (kW)
270	28	82	355.6	236	590

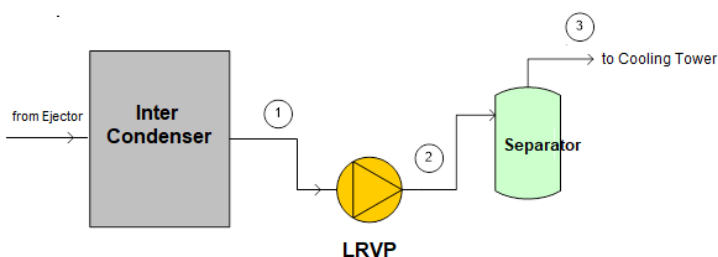


Jika dilihat pada kurva operasi dan efisiensi termal pompa *vacuum* (secara umum pada gambar diatas) dengan *type liquid ring vacuum (single stage)* maka titik *best efeciency point* (BEP) operasi pompa adalah pada tekanan hisap (*suction*) antara 200 – 300 mmHg dengan efisiensi sekitar 45% -50%.

Kondisi Operasi Vacuum Pump LRVP-B

Pompa vacuum LRVP-B di PLTP Patuha Unit 1 merupakan salah satu pengguna energi yg besar (Prioritas SEU 1). Ada 2 unit pompa vacuum (A dan B), dan beroperasi 1 unit (unit B), dengan dilengkapi dengan alat ukur aliran (*flowmeter*), sehingga *flowrate* akan digunakan sebagai data evaluasi. Pompa LRVP juga terpasang alat ukur tekanan (*pressure gauge*) dan *temperature gauge* dengan lengkap.

Observasi dan pengukuran pada kegiatan audit energi yang dilakukan pada tanggal 22 - 24 Maret 2021 dapat dilihat pada gambar 4.21t:



Gambar 4.21 Gambar skema operasi Pompa Vacuum LRVP

DATA OF Vac. Pump : LRVP-B

Survey Data (as per 23/3/2021)

Str. No.	Parameter Data	Unit	Type of Data			Source	Remark
			Measure	Observe	Reference		
1	Flowrate vacuum	m3/h	16996			CCR	from DCS CCR
	P suction	mmHg.A*	145.77			CCR	from DCS CCR
	T suction	°C	37.5			CCR	from DCS CCR
	Density mix (ρ)	kg/m3			2.997	Perry's Handbook	at temp intercondenser
	k = Cp/Cv	k			0.9		at temp intercondenser
Berat Molekul Udara	MW			46	at temp intercondenser		
2	<i>Electricity of Motor pompa:</i>						
	Current	Amp					with PQA
	Voltage	Volt					with PQA
	Cos phi	PF					with PQA
	Power	kW	470.0			Panel MCC	measured
3	P Discharge	mmHg.A*			663.56	data CCR	Data DCS CCR

*) 1 mmHg ekuivalen dengan 1 torr

Gambar 4.22 Data DCS Screen dan survey Pompa Vacuum LRVP Unit B

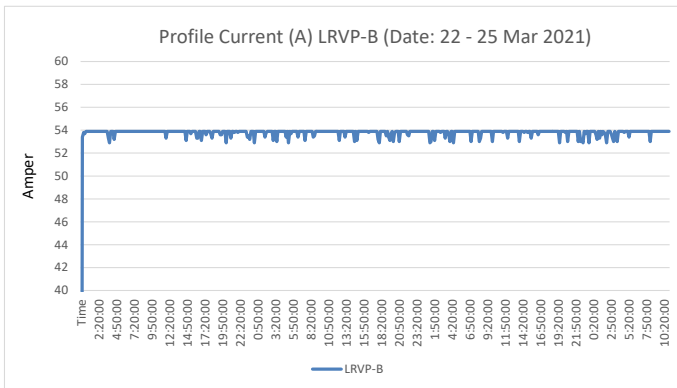
Pada penetapan sifat fisik /properties dari gas hisap atau *suction* (seperti: *Density*, Berat Molekul dan tetapan k atau Cp/Cv), maka diberikan asumsi bahwa gas yang terhisap oleh sistem *vacuum* LRVP pada proses NCG *Removal* di PLTP Patuha Unit 1 di proses produksi memiliki komposisi:

Komposisi :

H2O (%)	6.1%
NC (%)	90.5%
Air (%)	3.35%

sehingga dengan masing-masing nilai fisik (*properties*) bisa dihitung kondisi sifat fisik campuran atau Gas mix (NCG) seperti tercantum dalam gambar di atas.

Sedangkan profil *load* (A) konsumsi *power* listrik pada pompa LRVP-B selama survey (22-24 Maret 2021) adalah sebagai berikut.:



Terlihat pada grafik *load* diatas, bahwa beban motor listrik pompa LRVP stabil selama 3 hari survey. *Load* beban pompa LRVP ini sangat dipengaruhi *load steam inlet* atau sama pula dengan *load* pembangkitan PLTP Patuha Unit 1.

4.3.2.4. Evaluasi Performa LRVP

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 23 Maret 2021 dengan *load* saat siang hari (jam 10.00 – 15.00). Seperti telah dijelaskan

pada bagian metodologi diatas, bahwa penilaian performa LRVP (saat survey yang operasi adalah unit B) sebagai berikut:

Kondisi operasi:

- Tekanan hisap (suction) = 145.77 mmHg.A
- Tekanan output (discharge) = 663.56 mmHg.A
- Flowrate NCG dan ACW = 16996 m3/h
- Temperatur hisap = 37.5 °C (Intercooler tank)
- Power elektrik = 470 kW

Memberikan hasil simulasi efisiensi pompa LRVP adalah sebagai berikut:

Simulation of LRVP (Aktual Op.) : LRVP-B

Manufacturer : TSURUMI	Type of Data			Result	Ref. Design
	D	M	C	Audit En. 2021	
DATA of Gas (NCG):					
Density NCG	kg/m ³	M		2.997	
	lb/ft ³		C	0.1871	
Molecul Weigth, M	MW	D		46.0000	
Temperature suction, T	°C	M		37.50	
	°F		C	99.50	
	°R		C	116.67	
DATA of VACUUM PUMP OPERATION					
Suction air flowrate, w	m ³ /hr		C	16996	21336
	m3/min		C	283.3	355.6
	ft ³ /hr		C	600225	753474
	cu.ft/min		C	10004	12558
	lb/hr		C	112306	
Suction pressure (P1), vacuum	mmHg.Abs	M		145.77	210.02
Discharge pressure (p2), exhaust	mmHg.Abs	D		780.00	615.05
Ration Pressure P2/P1			C	5.35	
Konstanta Cp/Cv, k	k	D		0.81	
R gas constant	ft.lbf/(lb.mol)(°R)	D		1544.00	
Mechanical work (adiabatic hp)	hp		C	306.52	315.96
DATA OF ELECTRIC MOTOR DRIVEN					
Current of Motor	Amp	D		0.00	
Voltage of Motor	Volts	D		0.00	
Cos phi		D		0.0	
Electric motor power	KW		C	470.00	590.00
	bHP		C	630.03	790.88
Efficiency	%		C	48.7%	47%
EnPI's :					
% load vacuum operated (mech.)			C	97.0%	
% load of motor (electric)			C	79.7%	
Energy Intensity	kWh/m ³		C	0.028	
Emmision rate (**)	kg CO2/m ³		C	0.024	

Some assume & Reference:

Emmision rate of Electric generation kg CO2/kWh 0.867 (jaringan JAMALI)

Kesimpulan Performa pompa LRVP di PLTP Patuha Unit 1 (*kondisi pengujian pada tanggal 23 Maret 2021, siang hari*) adalah:

1. *Load* operasi pompa sudah mencapai kondisi batas maksimum operasi, yaitu dengan *load* 97% dari kapasitas *rating*, artinya pompa LRVP sudah dioperasikan dengan maksimal;
2. Konsumsi listrik sudah cukup baik dengan *load* sekitar 80% dari *rating design* motor, artinya masih dalam batas aman operasi (80 – 90% *load* untuk batas aman operasi *load* motor);
3. Performa (efisiensi) pompa LRVP sudah baik dengan nilai sesuai *design*, yaitu 48.7% (*design* sekitar 45 – 50%). Sehingga *monitoring* dan perawatan pompa LRVP kedepan perlu dipertahankan agar performa LRVP tidak mengalami *de-rating* yang signifikan.

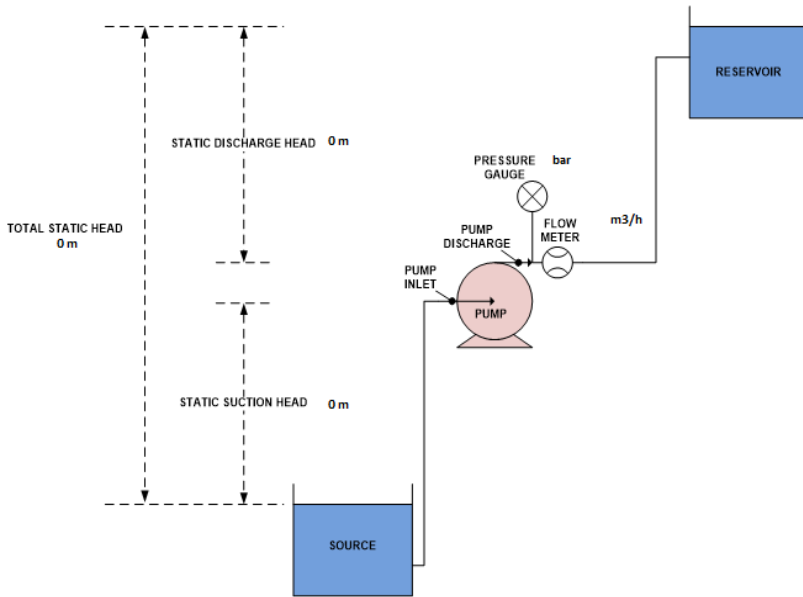
4.3.3. Pompa Hot Well Pump (HWP)

4.3.3.1. Metodologi Pompa

Pompa elektro motor (el-mot), dimana merupakan salah satu peralatan utama di PLTP Patuha Unit 1, sehingga merupakan salah satu pengonsumsi energi yang besar (SEU Prioritas 1) disamping peralatan kritis/penting (*important equipments*) di dalam proses pembangkitan listrik.

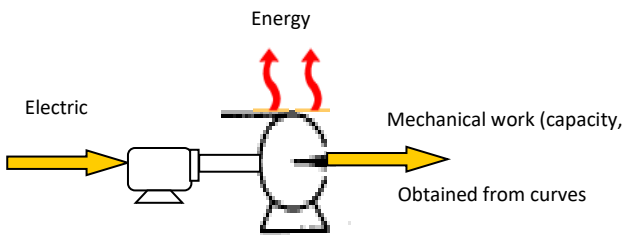
Tolok ukur unjuk kerja pompa adalah efisiensi pompa, yaitu perbandingan antara daya yang digunakan untuk memindahkan cairan dari *suction* ke *discharge* (daya aktual pompa) dengan daya aktual motor pompa.

Proses pemompaan dapat dijelaskan sebagaimana yang terlihat pada diagram gambar 4.23.



Gambar 4.23. Diagram sistem kerja dan energi di pompa el-mot

Metodologi evaluasi penghitungan unjuk kerja (*performance*) pompa elektro motor dapat dijelaskan pada uraian berikut ini:



$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Mechanical work}}{\text{Electric power input}} \times 100\%$$

* Mechanical Work (Pw), dihitung sebagai berikut:

$$\text{Mechanical Work (Pw)} = 1,022 \cdot H_t \cdot \text{Flowrate (Qv,c)} \cdot S_g / 3960 \quad (\text{HP})$$

- Ht = $D_p - S_p$ (psia)
 S_p = Suction pressure (psia)
 D_p = Discharge pressure (psia)
Ht (feet) = $2.31 \times (D_p - S_p)$ (psia)
Sg = Specific Gravity of fluida
 $Q_{v,c}$ = Flowrate dikalikan factor koreksi fluida (gpm)
* *Refer to Pump Handbook - Karrasik, Krutzsch*

Sebagai *benchmark* (pembanding) performa pompa, maka akan dibandingkan dengan data design dan performa pada *comissioning test* unit masing-masing pompa.

4.3.3.2. Data dan Fakta HWP

Data-data pengamatan dan pengukuran di Pompa HWP (Unit A & B) yang *running* saat survey adalah sebagai berikut:

Kondisi Design Vacuum Pump HWP



Hotwell Pump Specification

Model : VPFC-W-M

Vertical mixed flow pump
with the Barrel case

Suction Size : 44 inch

Discharge Size : 28 inch

Capacity : 5000 m³/H

Total Head : 30 m

Rotational Speed : SS 750 min⁻¹

Rated Brake Horse Power : 550 kW



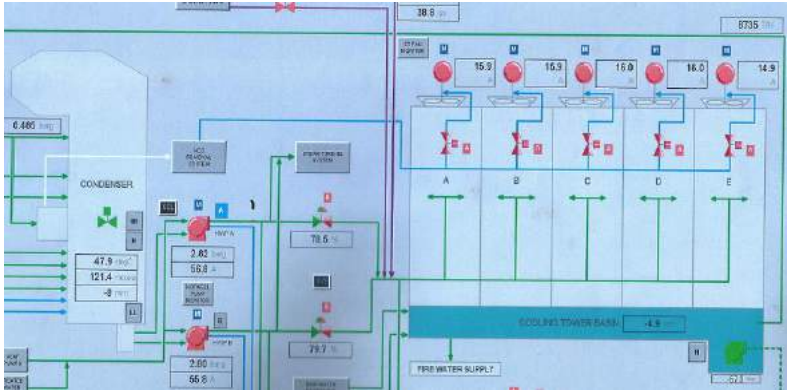
Dari data spesifikasi tersebut, maka efisiensi design pompa dihitung sebagai berikut:

HASIL SIMULASI PENGHITUNGAN EFISIENSI POMPA - DESIGN HWP

Type of Pump ==> Vertical Mix (Hot Well)			Type of Data			Result
			D	M	C	Design
<u>DATA of Liquid:</u>						
Density Water		lb/ft3		C		62.14
		lb/gal		C		8.31
SG			D			0.998
Temperature liquid		°F	D			274.10
<u>DATA of PUMP OPERATION</u>						
flowrate		gpm	D			22014.00
		ft3/s		C		49.05
Total head		ft		C		98.43
Mechanical work (design)		KW		C		416.32
		HP		C		558.07
<u>DATA OF MOTOR DRIVEN</u>						
Current of Motor		Amp	D			
Voltage of Motor		Volts	D			
Cos phi			D			
Electric motor power		KW		C		550.00
		HP		C		737.27
		Joule/hr		C		0.00
		mmbtu/hr		C		0.00
	Design	kW	D			90.00
Efficiency	Overall	%		C		75.7%

Kondisi Operasi Vacuum Pump HWP

Pompa vacuum HWP A/B di PLTP Patuha merupakan salah satu pengguna energi yg besar (Prioritas SEU 1). Ada 2 unit pompa HWP (A dan B), dan beroperasi keduanya saat survey. Sehingga pompa HWP ini sangat diperlukan kehandalannya, karena apabila salah satu atau bahkan keduanya mengalami *trouble*, maka dipastikan produksi listrik di PLTP akan terganggu. Berikut ini data-data saat survey untuk kedua pompa HWP :



DATA OF : HWP-A

Survey Data (as per 23-24 Mar 2021)

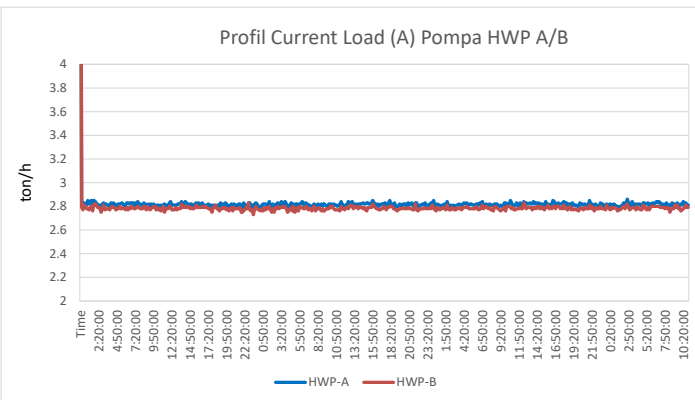
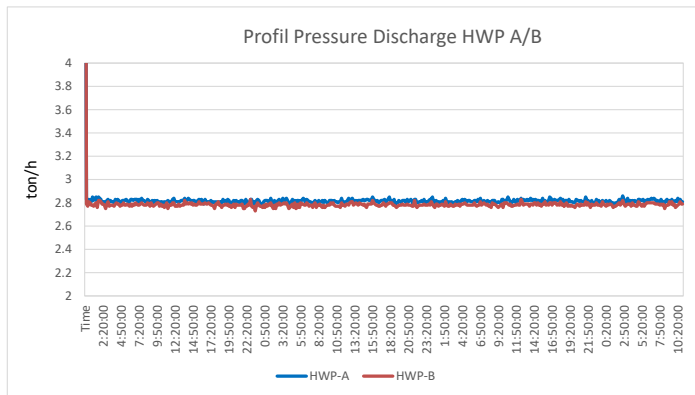
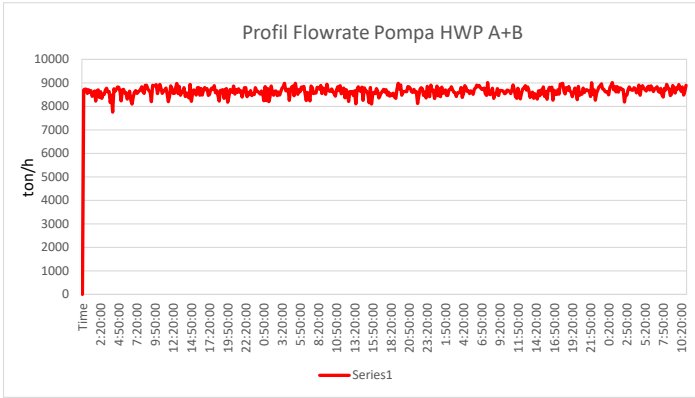
No.	Parameter Data	Unit	Type of Data			Source	Remark
			Measure	Observe	Reference		
1	Flowrate	m3/h		4367.5		CCR	data DCS
2	P discharge	Bar.A		3.820		CCR	data lapangan/DCS
3	P suction	Bar.A		1.121		CCR	data lapangan/DCS
4	T suction	oC		47.9		CCR	data lapangan/DCS
5	SG Water				0.9995		at temp 40 - 50 oC ; 1 bar
6	<i>Electricity of Motor:</i>						
	Current	Amp				MCC	with PQA
	Voltage	Volt				MCC	with PQA
	Cos phi	PF				MCC	with PQA
	Power	kW	507.00			MCC	with PQA

DATA OF : HWP-B

Survey Data (as per 23-24 Mar 2021)

No.	Parameter Data	Unit	Type of Data			Source	Remark
			Measure	Observe	Reference		
1	Flowrate	m3/h		4367.5		CCR	data DCS
2	P discharge	Bar.A		3.800		CCR	data lapangan/DCS
3	P suction	Bar.A		1.121		CCR	data lapangan/DCS
4	T suction	oC		47.9		CCR	data lapangan/DCS
5	SG Water				0.9995		at temp 40 - 50 oC ; 1 bar
6	<i>Electricity of Motor:</i>						
	Current	Amp				MCC	with PQA
	Voltage	Volt				MCC	with PQA
	Cos phi	PF				MCC	with PQA
	Power	kW	506.00			MCC	with PQA

Profil Flowrate, Pressure Discharge & Load motor HWP dapat ditampilkan sebagai berikut:



4.3.3.3. Evaluasi Performa HWP

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 23-24 Maret 2021 dengan *load* saat siang hari (jam 10.00 – 15.00). Berikut hasil simulasi evaluasi pompa HWP A/B di PLTP Patuha Unit 1:

No.	Parameter Operasi HWP	Satuan	Nilai pada Kondisi	
			Malam	Siang
1	Flowrate	ton/h	4304	4304
2	Temp. suction	oC	45.9	47.9
3	Press. Suction	mbar.A	115.1	122.1
4	Press. Discharge	bar.G	2.81	2.81
5	Power Motor	kW	507	506
6	Efisiensi	%	66.9%	66.5%
	Design Eff. Pompa HWP	%	75.8%	75.8%
7	Gap. Efficiency	%	8.9%	9.3%
8	Potensi penurunan listrik motor	kW	59.55	61.87
	% Potensi Saving Daya	%	11.7%	12.2%
9	Load terhadap Kapasitas Pompa	%	81%	81%
10	Load terhadap Rating Motor	%	92%	92%

Kesimpulan Performa pompa HWP A/B PLTP Patuha Unit 1 (*kondisi pengujian pada tanggal 23 Maret 2021, malam dan siang hari*) adalah:

1. Load operasi pompa baru mencapai kondisi sekitar 81% dari kapasitas rating pompa, akan tetapi konsumsi daya motor listrik sudah mencapai load 92% dari rating, artinya pompa HWP. Ini berarti pompa ada peluang penghematan dengan menurunkan *power* motor pmpa.
2. Konsumsi listrik masih tinggi (92%) dengan *load* pemompaan masih 81%

3. Performa pompa HWP pada kondisi siang malam hari sedikit lebih baik dibandingkan siang hari karena faktor temperatur hisap yang sedikit lebih rendah di malam hari.
4. Performa (efisiensi) pompa HWP sudah sedikit *derating* dari desainnya ($Design = 75.8\%$), sehingga *gap* efisiensi dan potensi penurunan motor listrik HWP yaitu 8,9% - 9.3% dan potensi *saving* daya sebesar 60 kW per motor HWP A/B.

Pilihan VSD untuk mengatur putaran motor pompa HWP sehingga mengurangi daya motor disesuaikan dengan daya mekanik pompa sehingga menghasilkan efisiensi pada titik BEP nya.

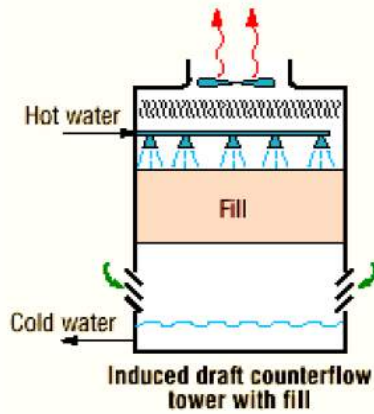
4.3.4. Cooling Tower

4.3.4.1. Metodologi CT

Jika dilihat dari *driving force* maka CT dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *Natural* dan *Mechanical Draft CT*. *Natural draft CT* menggunakan aliran alami (tanpa *fan*), sedangkan *Mechanical draft CT* membutuhkan daya dari fan untuk mendistribusikan udara sebagai media penukar panas pada CT. Jenis *mechanical draft CT* (jika dilihat dari skema aliran udara yang dihembuskan terhadap CT yang didinginkan), dapat dibedakan menjadi:

- *Counter flow induced draft CT*
- *Counter flow force draft CT, dan*
- *Cross flow induced draft CT*

Jenis CT di PLTP Patuha Unit 1, adalah *mechanical draft CT* jenis *Counter-flow Induced Draft_with Low Pressure Fill Spray*. Secara skematik, CT terpasang disajikan di Gambar 4.24:



Gambar 4.24. Cooling tower type Counter flow-induced draft

Untuk melakukan penilaian *assesement* terhadap kinerja (*performannce*) Cooling Tower, maka parameter yang dianalisis adalah sebagai berikut :

- **Range**

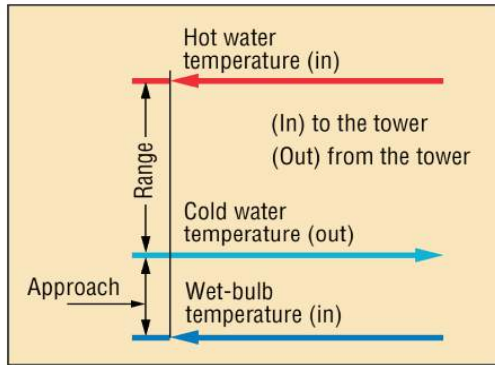
Adalah perbedaan temperatur antara CT inlet (*cooling water return*) dengan CT outlet (*cooling water supply*).

- **Approach**

Adalah perbedaan temperatur antara CT outlet (*cooling water supply*) atau *cold water temperature* dengan temperatur udara bola basah (*wet bulb temperature*).

Nilai *Range* menggambarkan beban pendinginan di proses sehingga nilai *range* ini dipengaruhi oleh kondisi proses, sedangkan nilai *Approach* menggambarkan kapasitas desain CT. Semakin kecil nilai *Approach* maka semakin besar kapasitas desain pendinginan CT, karena *cold water temperature* semakin mendekati WBT (*wet bulb temperature*). Secara *rule of tumb*, *design* nilai *Approach* terendah adalah pada angka 2.8 °C.

Berikut ilustrasi antara *Range* dan *Approach* yang disajikan di Gambar 4.25 sebagai berikut:



Gambar 4.25. Ilustrasi *Range* dan *Approach*

- **Efektifitas CT**

Adalah rasio antara nilai *range* dengan *ideal range* (perbedaan CT inlet dengan WBT) yang dinyatakan dengan dengan formula sebagai berikut :

$$\text{Efektifitas CT} = \frac{\text{Range}}{(\text{Range} + \text{Approach})}$$

Pada umumnya, CT dirancang dengan efektifitas antara 0.6 – 0.7 (*rated*). Namun, nilai Efektifitas ini sangat tergantung pada beban pendinginan di proses yang akan mempengaruhi nilai *range* yang secara tak langsung juga berpengaruh terhadap efektifitas CT.

- **Laju Panas CT atau *Cooling Capacity***

Adalah panas yang dibuang oleh CT merupakan indikasi laju panas yang dihasilkan di proses. Untuk menghitung *Cooling capacity* diperlukan formula sebagai berikut :

$$\text{Cooling Capacity} = \text{Flow} \left(\frac{m^3}{h} \right) \times C_p, \text{water} \times \text{Range}$$

Cp : kapasitas panas air (kJ/kg°C)

- **Evaporation Loss (Laju penguapan karena hilang ke lingkungan)**

Adalah laju air pendingin yang menguap pada proses pendinginan CT. Secara *rule of thumb*, untuk mendinginkan air pendingin sebesar 5,55 °C dibutuhkan penguapan sebesar 1% dari air sirkulasi. Formula *Evaporation Loss* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Laju evaporasi } \left(\frac{m^3}{h} \right) \\ = 0.00085 \times 1.8 \times \text{Range} \times \text{Laju sirkulasi } \left(\frac{m^3}{h} \right) \end{aligned}$$

Semakin tinggi beban pendinginan CT, semakin besar pula laju evaporasi.

- **Rasio Konsentrasi (Cycle of Concentration atau COC)**

Adalah rasio antara TDS pada air sirkulasi dengan *water make up*. Semakin tinggi nilai COC, semakin tinggi pula laju *blowdown* dan *water make up*. Nilai COC ini menggambarkan performa TDS pada air sirkulasi.

- **Blowdown**

Nilai *blowdown* ini tergantung pada nilai COC dan laju evaporasi di CT. Formula *blowdown* dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Blowdown} = \frac{\text{Laju evaporasi}}{(\text{COC} - 1)}$$

- **L/G rasio**

Adalah rasio antara laju alir air pendingin (*cooling water mass flowrate*) dengan laju udara (*air mass flowrate*). Secara termodinamik, formula L/G rasio dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$L(T_1 - T_2) = G(h_2 - h_1)$$

$$\frac{L}{G} = \frac{(h_2 - h_1)}{(T_1 - T_2)}$$

Dimana,

L/G = rasion laju masaa air pendingin terhadap udara

T₁ = temperatur air panas (°C)

T₂ = temperatur air dingin (°C)

h₂ = entalpi campuran udara dan air pada temperatur udara bola basah keluar

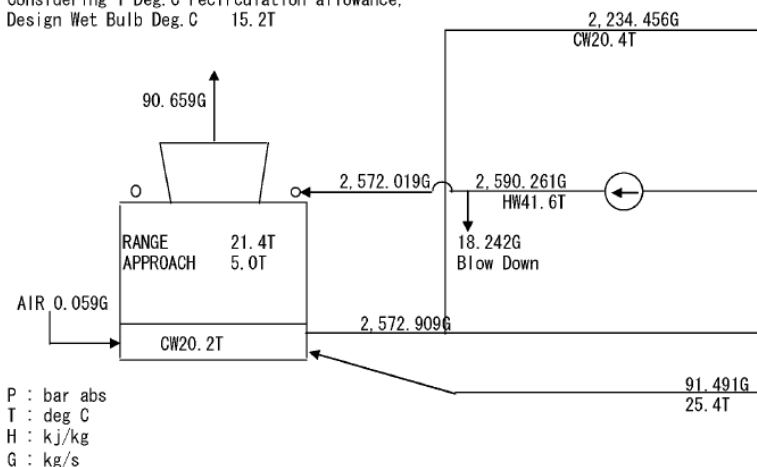
h₁ = entalpi campuran udara dan air pada temperatur udara bola basah masuk

Secara *rule of thumb*, nilai L/G rasio adalah antara 0.75 - 1.75.

Berikut data design dari CT di PTLP Patuha Unit-1 :

Design CT :

Atm. Press 0.80P
 Dry Bulb Deg.C 15. 2T
 Relative Humidity % 90. 1%
 Ambient Wet Bulb Deg.C 14. 2T
 Considering 1 Deg.C recirculation allowance,
 Design Wet Bulb Deg.C 15. 2T



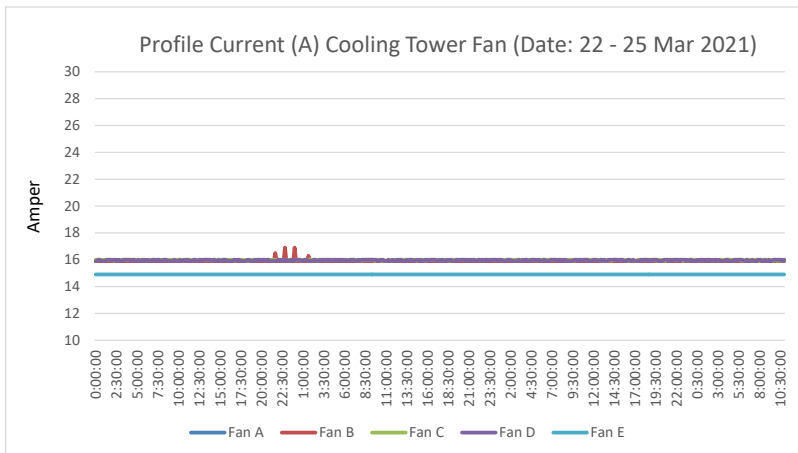
Data dan Fakta CT

Data-data pengamatan dan pengukuran *Cooling tower* selama survey adalah sebagai berikut:

DATA COOLING TOWER
PLTP PATUHA UNIT 1
Tanggal survey : 22 - 24 Maret 2021

Data Historikal dan pengukuran		SATUAN	Nilai rerata	
			Malam	Siang
1	Temperatur CW masuk Tower (return)	C	45.9	47.9
2	Temperatur air resirkulasi (supply)	C	23.4	24.4
3	Laju air resirkulasi	M3/jam)	8595	8608
4	Specific Ion Concentration in the Recirculation Water/Blowdown		24.87	24.87
5	Specific Ion Concentration in the Make Up Water		20	20
6	Panas jenis air sirkulasi	kKal/kg/C	1	1
7	Panas jenis udara ambien	kKal/kg/C	0.24	0.24
8	Temperatur Udara Ambien (db)/inlet Tower	C	16.0	18.4
9	Temperatur Udara Ambien (wb)/inlet Tower	C	14.3	16.7
10	Kelembaban Relatif Udara Ambien	%	92.6	80.6
11	Kelembaban Absolut Udara Ambien	kg,w/kg,a	0.0112	0.118
12	Tekanan evaporasi (P,v)	kg/cm2	0.01091	0.11495
13	Tekanan udara kering (P,a)	kg/cm2	0.96324	0.85920
14	Power Fan (5 unit CT Fan)	kW	728	728
15	Power Pump (2 unit HWP)	kW	1013	1013

Profil daya listrik *Cooling tower fan* (dalam A) selama tanggal pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Profil load (A) Cooling tower Fan selama pengukuran

4.3.4.2. Evaluasi Performa CT

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 22 – 24 Maret 2021 dengan 2 load yaitu saat malam hari (jam 00.00 – 06.00) dan siang hari (jam 08.00 – 16.00). Seperti telah dijelaskan pada bagian metodologi diatas, bahwa penilaian performa CT menggunakan beberapa parameter sebagai berikut.

- **Range (malam / siang)**

- Temperatur CW masuk Tower = 45.9 / 47.9 °C
 - Temperatur air resirkulasi (supply to condenser) = 23.4/ 24.4 °C
- Range = 22.5 / 23.5 °C**

- **Approach (malam / siang)**

- Temperatur air resirkulasi (basin Temp) = 23.4/24.4 °C
 - Temperatur udara ambient = 14.3/16.7 °C
- Approach = 9.2/ 7.7 °C**

- **Efektifitas CT (malam/ siang)**

$$\begin{aligned} \text{Efektifitas CT} &= \text{Range}/(\text{Range} + \text{Approach}) \\ &= 71\%/75\% \end{aligned}$$

- **Laju Panas CT atau Cooling Capacity (malam/ siang)**

$$\begin{aligned} \text{Laju panas Tower/Cooling Capacity} \\ &= \text{Range} \times \text{Laju sirkulasi} \times \text{Cp Water} \\ &= 193.071.319 / 202,124,450 \text{ kCal/h.} \end{aligned}$$

- **Evaporation Loss /Laju evaporasi (malam/ siang)**

$$\begin{aligned} \text{Laju evaporasi} &= 0.00085 \times 1.8 \times \text{Range} \times \text{Laju sirkulasi} \\ &= 295/309.3 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

- **Rasio Konsentrasi /Cycle of Concentration atau COC (malam/ siang)**

$$\text{COC} = \text{TDS pada air sirkulasi} / \text{TDS air make up}$$

$$= 2.07/2.07$$

▪ **Blowdown (malam/ siang)**

$$\begin{aligned}\text{Laju air blowdown} &= \text{Laju sirkulasi} / (\text{COC} - 1) \\ &= 275 / 288 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

▪ **L/G rasio (malam/ siang)**

a. **Kondisi Malam :**

$$h_2 = 60.2 \text{ kJ/kg (dari psychometric chart kondisi malam)}$$

$$h_1 = 83.2 \text{ kJ/kg (dari psychometric chart kondisi malam)}$$

$$T_1 = 46.9 \text{ }^\circ\text{C (temp. cooling water inlet CT)}$$

$$T_2 = 23.4 \text{ }^\circ\text{C (temp. cooling water outlet CT)}$$

$$\text{L/G rasio kondisi malam} = 1.0$$

b. **Kondisi Siang :**

$$h_2 = 64.7 \text{ kJ/kg (dari psychometric chart kondisi siang)}$$

$$h_1 = 85 \text{ kJ/kg (dari psychometric chart kondisi siang)}$$

$$T_1 = 47.9 \text{ }^\circ\text{C (temp. cooling water inlet CT)}$$

$$T_2 = 24.4 \text{ }^\circ\text{C (temp. cooling water outlet CT)}$$

$$\text{L/G rasio kondisi siang} = 0.9$$

Kesimpulan Performa CT PLTP Patuha Unit 1

(kondisi malam dan siang hari)

Dari perhitungan performa CT Patuha (*malam dan siang*) sesuai Tabel 4.10 dibawah, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Beban pendinginan lebih rendah pada malam hari sehingga range lebih rendah juga pada malam hari .
2. Pada siang hari, temperatur outlet CT semakin mendekati WBT (*wet bulb temperatur*) sehingga performa CT semakin baik karena *Approach* semakin rendah

Nilai	Malam	Siang
Range	22.5	23.5
Approach	9.2	7.7

Tabel 4.10 Ringkasan performa CT PLTP Patuha Unit 1

RESUME PERFORMANCE CT PLTP PATUHA Unit 1

Data Survey : 22 - 24 Maret 2021

Parameter	Unit	Malam	Siang
T hot (enter CT)	°C	45.9	47.9
T cold (to condenser)	°C	23.4	24.4
T dry bulb	°C	16.0	18.4
T wet bulb	°C	14.3	16.7
%humidity (RH)	%	92.6	80.6
Range	°C	22.5	23.5
Approach	°C	9.2	7.7
Circulation water rate	m ³ /h	8595.4	8608.0
Evaporation rate	m ³ /h	295.4	309.3
% of Evaporation	%	3.4%	3.6%
Blowdown rate	m ³ /h	275	288
Make up water flow	m ³ /h	571	598
COC (Cycle of Concentartion)		2.07	2.07
Tower Effectiveness		71.0%	75.2%
Design :		81.0%	81.0%
L/G rasio		1.0	0.9
Heat evaporation rate	kCal/h	193,071,319	202,124,450
Holding capacity	m ³	2133	2133
Holding Index (HTI)		5.4	5.1
Air flow rate	Nm ³ /h	2,902,872	3,443,188
Power fan needed (teoritik)	kW	415	492
Power fan aktual consumption	kW	728	728
Fan Efficiency	kW	57%	68%
Power pump aktual consumption	kW	1013	1013
Performa Index	kW/TR	0.027	0.026

- Sirkulasi *cooling water* hamper sama antara malam dan siang hari akan tetapi karena range lebih rendah pada malam hari, maka mengakibatkan parameter evaporasi *rate* dan *blowdown* sedikit lebih kecil pada malam hari sebagai berikut.

Nilai parameter	Malam	Siang
Circ. Water	8595.4	8608.0
Evap. Rate	295.4	309,3
Blowdown rate	275	288
Make up water rate	597	598

4. Efektifitas CT semakin meningkat dengan kenaikan performa *cooling tower* sebagai berikut.

Nilai parameter	Malam	Siang
Effectiveness	71.0%	75.2%
Gap thdp design	10%	4.8%

5. Laju panas Tower/*Cooling Capacity* akan meningkat seiring dengan kenaikan beban pendinginan sesuai kondisi operasi. Berikut ini gambaran Malam dan Siang hari:

Nilai	Malam	Siang
Evap. Heat rate, <i>Mkal</i>	193.071	202.124
heat rate	9.053	MCal/h
Catatan	5%	Naik pada siang hari

6. Power supply (*required*) untuk fan bertambah pada siang hari sebesar sebagai berikut.

Nilai	Malam	Siang
Electric power req.	415	492
Power		75 kW
	18,5%	Naik pada siang hari atau turun pada malam hari
Number of fan set		5 unit
Power supply (aktual)	Konsumsi power actual <u>sama</u> antara Malam dan siang hari sebesar = 728 kW	

7. Efisiensi fan *Cooling tower* antara kondisi malam dan siang hari adalah:

Nilai	Malam	Siang
Efisiensi Fan	57%	68%
Deviasi Eff.	11%	Efisiensi Fan naik pada siang hari atau turun pada malam hari

8. Secara umum kondisi efisiensi (efektifitas) *Cooling Tower* di PLTP Patuha Unit 1 masih dalam kondisi baik (wajar), terutama saat kondisi siang hari karena sudah masuk dalam daerah antara 70% – 80% untuk efektifitas *Cooling tower* yang baik.

Akan tetapi, dapat disimpulkan bahwa kondisi CT pada Malam hari memiliki kapasitas pendinginan lebih rendah, sehingga memerlukan *power* motor (*fan*) lebih rendah juga dibandingkan kondisi siang hari. Karena kondisi *power* yang di-*supply* (*actual*) saat ini sama saja, maka berakibat:

- Performa CT pada malam hari lebih rendah dibandingkan pada siang hari.
 - Performa Index (kW/TR) CT pada malam hari lebih tinggi dibanding kondisi siang hari.
 - Energi yang dikonsumsi lebih besar pada malam hari (lebih boros) dan akibatnya efisiensi Fan CT juga lebih rendah.
9. Dengan demikian diperlukan modifikasi proses atau pun pola operasi dan teknologi untuk meningkatkan performa CT pada malam hari. Sehingga secara keseluruhan akan menghemat energi pada system *Cooling Tower*.

4.3.5. Pompa Re-injeksi Kondensat

4.3.5.1. Metodologi Pompa

Metodologi pompa sama dengan pembahasan evaluasi HWP sebelumnya.

4.3.5.2. Data dan Fakta Pompa Re-injeksi

Data-data pengamatan dan pengukuran di Pompa Re-injeksi (Unit B) yang running saat survey adalah sebagai berikut:

Kondisi Design Vacuum Pump HWP



Spesification MOTOR : Spesifikasi POMPA :

P = 76 kW
A = 131
V = 380
Hz = 50
rpm = 2960

Head = 75 m
Q (flow) = 177 m³/h

Dari data spesifikasi tersebut, maka efisiensi design pompa dihitung sebagai berikut:

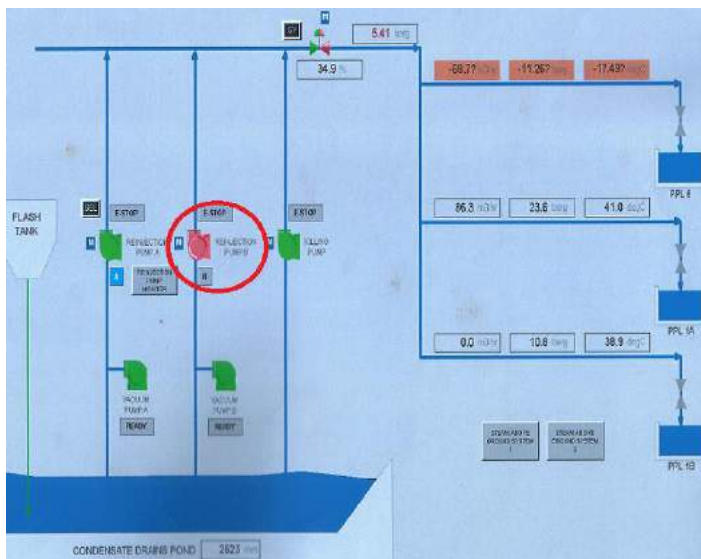
HASIL SIMULASI PENGHITUNGAN EFISIENSI POMPA - DESIGN Reinjeksi

Type of Pump ==> Centrifugal		Type of Data			Result
		D	M	C	Design
DATA of Liquid:					
Density Water	lb/ft ³			C	62.23
SG		D			1.000
Temperature liquid	°F	D			108.32
DATA of PUMP OPERATION					
flowrate	gpm	D			779.30
Total head	ft			C	278.87
Mechanical work (design)	KW			C	41.82
	HP			C	56.06
DATA OF MOTOR DRIVEN					
Current of Motor	Amp	D			
Voltage of Motor	Volts	D			
Cos phi		D			
Electric motor power (Design)	KW			C	68.00
	HP			C	91.15
	Joule/hr			C	0.00
	mmbtu/hr			C	0.00
Efficiency	Overall	%		C	61.5%

Kondisi Operasi Pompa Re-injeksi

Pompa Reinjeksi di PLTP Patuha merupakan salah satu pengguna energi yg cukup besar (Prioritas SEU 2). Walaupun konsumsi daya

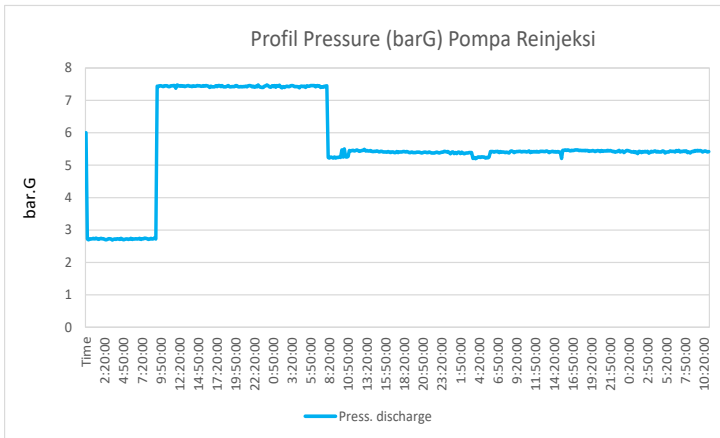
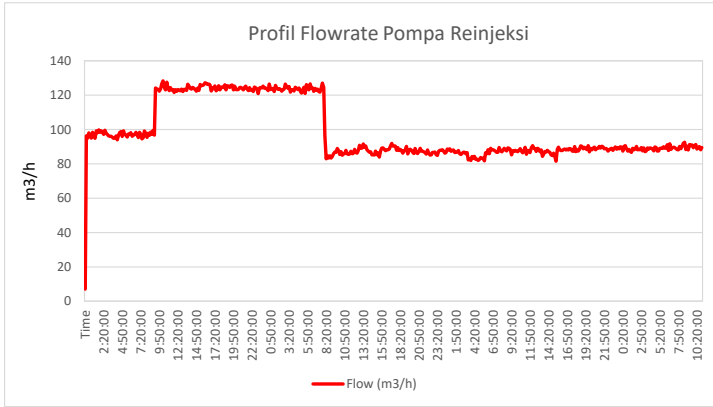
pompa tergolong kecil disbanding SEU prioritas 1 akan tetapi karena pompa reinjeksi ini beroperasi kontinu, maka penggunaan energi juga cukup besar. Ada 2 unit pompa Reinjeksi (A dan B), dan beroperasi 1 (satu) unit bergantian. Berikut ini data-data saat survey untuk pompa Reinjeksi B :



DATA OF : **Reinjeksi Pump - B**
 Survey Data (as per 23-24 Mar 2021)

No.	Parameter Data	Unit	Type of Data			Source	Remark
			Measure	Observe	Reference		
1	Flowrate	m ³ /h		98.7		CCR	data DCS
2	P discharge	Bar.A		6.660		CCR	data lapangan/DCS
3	P suction	Bar.A		1.262		CCR	data lapangan/DCS
4	T suction	oC		40.0		CCR	data lapangan/DCS
5	SG Water				0.9995		at temp 40 - 50 oC ; 1 bar
6	<i>Electricity of Motor:</i>						
	Current	Amp				MCC	with PQA
	Voltage	Volt				MCC	with PQA
	Cos phi	PF				MCC	with PQA
	Power	kW	40.40			MCC	with PQA

Profil *Flowrate* and *Pressure Discharge* pompa Re-injeksi dapat ditampilkan sebagai berikut.



4.3.5.3. Evaluasi Performa HWP

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 23-24 Maret 2021 dengan *load* saat siang hari (jam 10.00 – 15.00). Berikut hasil simulasi evaluasi pompa Re-injeksi B yang *running* saat audit energi dilakukan di PLTP Patuha Unit 1:

No.	Parameter Operasi Pompa Re-injeksi	Satuan	Nilai pada Kondisi survey
1	Flowrate	m ³ /h	98.7
2	Temp. suction	oC	40.0
3	Press. Suction	bar.A	1.26
4	Press. Discharge	bar.A	6.66
5	Power Motor	kW	40.4
6	Efisiensi (aktual)	%	38.0%
	Design Eff. Pompa Re-injeksi	%	61.5%
7	Gap. Efficiency	%	23.5%
8	Potensi penurunan listrik motor	kW	15.47
	% Potensi Saving Daya	%	38.3%
9	Load terhadap Kapasitas Pompa	%	37%
10	Load terhadap Rating Motor	%	59%

Kesimpulan Performa pompa Re-injeksi B PLTP Patuha Unit 1 (kondisi pengujian pada tanggal 23 Maret 2021, siang hari) adalah:

1. Load operasi pompa baru mencapai kondisi sekitar 37% dari kapasitas *rating* pompa, akan tetapi konsumsi daya motor listrik sudah mencapai *load* 59% dari *rating* pompa Reinjeksi. Ini berarti pompa ada peluang penghematan dengan menurunkan *power* motor pompa karena terjadi beda cukup jauh antara daya mekanik dengan konsumsi daya listrik.
2. Konsumsi listrik masih tinggi (59%) dengan *load* pemompaan hanya 37%
3. Performa (efisiensi) pompa reinjeksi ini sudah mengalami *derating* dari *desigannya* (*Design* = 61.5%), sehingga *gap* efisiensi dan potensi penurunan motor listrik Pompa Reinjeksi yaitu 23.5% dan potensi *saving* daya sebesar 15.5 kW yang beroperasi kontinyu.

- Pilihan VSD untuk mengatur putaran motor pompa reinjeksi ini sehingga mengurangi daya motor disesuaikan dengan daya mekanik pompa yang akan menghasilkan efisiensi pada titik BEP nya.

4.3.6. Pompa *Raw Water Intake* & Pompa *Booster* Cipaku

4.3.6.1. Metodologi Pompa

Metodologi pompa sama dengan pembahasan evaluasi Pompa sebelumnya.

4.3.6.2. Data dan Fakta Pompa Cipaku

Data-data pengamatan dan pengukuran di Pompa *Raw Water* & *Booster* di Cipaku yang dilakukan *running test* saat survey adalah sebagai berikut:

- Kondisi Design Pompa *Raw Water Intake* Cipaku**



Specification

MOTOR :

P = 11 kW
V = 380
A = 21.1
Hz = 50

POMPA :

Head = 16 m
Flow = 60 m³/h

Dari data spesifikasi tersebut, maka efisiensi design pompa *Raw Water Intake* dihitung sebagai berikut:

HASIL SIMULASI PENGHITUNGAN EFISIENSI POMPA - DESIGN Raw Wtr Intake

Type of Pump ==> Centrifugal		Type of Data			Result
		D	M	C	DESIGN
DATA of Liquid:					
Density Water	lb/ft ³			C	62.26
SG		D			1.000
Temperature liquid	°F	D			68.00
DATA of PUMP OPERATION					
flowrate	gpm	D			264.17
Total head	ft			C	85.30
Mechanical work (design)	KW			C	4.34
	HP			C	5.82
DATA OF MOTOR DRIVEN					
Current of Motor	Amp	D			
Voltage of Motor	Volts	D			
Cos phi		D			
Electric motor power (Design)	KW			C	11.00
	HP			C	14.75
Efficiency Overall	%			C	39.4%

*Catatan : Motor terpasang di pompa Raw Water intake Cipaku oversize

• **Kondisi Design Pompa Booster Cipaku**



Specification

MOTOR :

P = 160 kW
 V = 380
 A = 282
 Hz = 50

POMPA :

Head = 567 m
 Flow = 60 m³/h

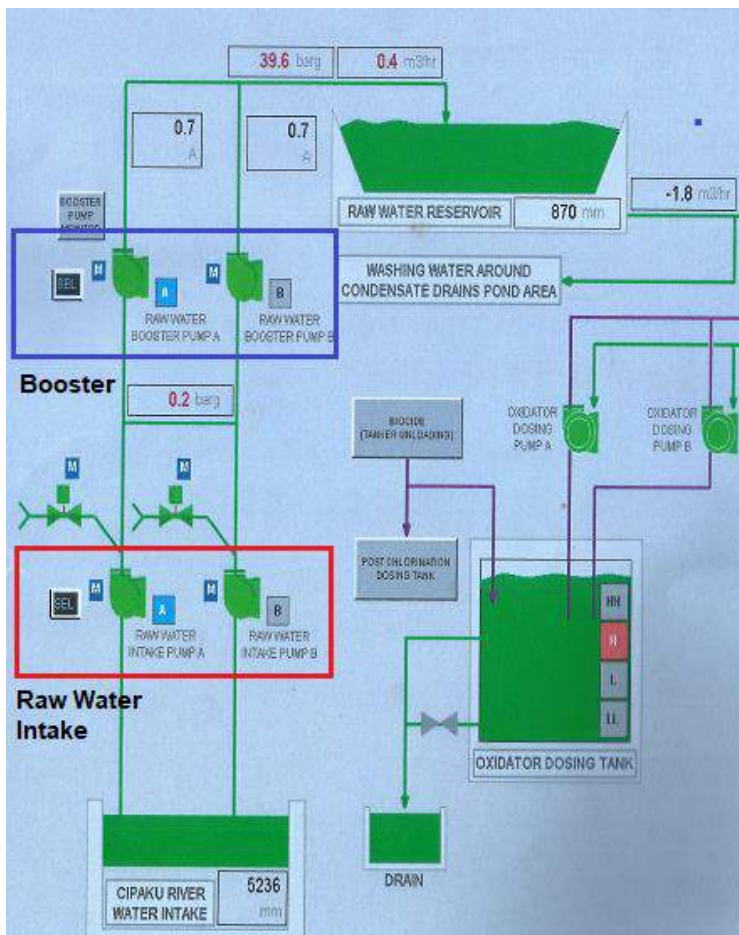
Dari data spesifikasi tersebut, maka efisiensi design pompa *Booster Cipaku* dihitung sebagai berikut:

HASIL SIMULASI PENGHITUNGAN EFISIENSI POMPA - DESIGN				Booster Pump		
Type of Pump ==> Centrifugal			Type of Data			Result
			D	M	C	DESIGN
DATA of Liquid:						
Density Water	lb/ft3			C	62.26	
SG		D			1	
Temperature liquid	°F	D			68.00	
DATA of PUMP OPERATION						
flowrate	gpm	D			264.17	
Total head	ft			C	1893.04	
Mechanical work (design)	KW			C	96.28	
	HP			C	129.06	
DATA OF MOTOR DRIVEN						
Current of Motor	Amp	D				
Voltage of Motor	Volts	D				
Cos phi		D				
Electric motor power (Design)	KW			C	160.00	
	HP			C	214.48	
Efficiency	Overall	%		C	63.34%	

▪ **Kondisi Operasi Pompa *Raw Water Intake* dan Pompa *Booster Cipaku***

Pompa *Raw Water Intake* dan Pompa *Booster* di Cipaku merupakan salah satu pompa yang vital pada proses pembangkitan PLTP Patuha karena sumber air baku yang digunakan di pembangkitan. Walaupun konsumsi daya pompa tergolong kecil dibanding (hanya termasuk SEU prioritas 3), akan tetapi karena termasuk peralatan vital, maka pada audit energi ini dilakukan pengukuran dan evaluasi performanya. Kedua pompa ini tidak beroperasi kontinyu (hanya dioperasikan pada hari Sabtu/Minggu setiap pekannya), maka penggunaan energi juga relatif kecil. Pompa *Raw Water Intake* (A/B) dan Pompa *Booster* (A/B) beroperasi secara serial saat digunakan untuk mengirim air baku dari bendungan sungai Cipaku ke *Water Reservoir* di Lokasi J yang berada di level atas dari sungai Cipaku dengan ketinggian sekitar 60 meter.

Berikut ini data-data saat survey untuk kedua pompa tersebut :



DATA OF : Raw Water Intake - A

Survey Data (as per 25 Mar 2021)

No.	Parameter Data	Unit	Type of Data			Source	Remark
			Measure	Observe	Reference		
1	Flowrate	m ³ /h		54.1		CCR	data DCS
2	P discharge	Bar.A		2.650		CCR	data lapangan/DCS
3	P suction	Bar.A		1.262		CCR	data lapangan/DCS
4	T suction			20.0		CCR	data lapangan/DCS
5	SG Water				1		at temp 20 - 25 oC ; 1 barA
6	<i>Electricity of Motor:</i>						
	Current	Amp				MCC	with PQA
	Voltage	Volt				MCC	with PQA
	Cos phi	PF				MCC	with PQA
	Power	kW	7.00			MCC	with PQA

DATA OF : Booster Pump A

Survey Data (as per 25 Mar 2021)

No.	Parameter Data	Unit	Type of Data			Source	Remark
			Measure	Observe	Reference		
1	Flowrate	m ³ /h		54.1		CCR	data DCS
2	P discharge	Bar.A		61.000		CCR	data lapangan/DCS
3	P suction	Bar.A		1.262		CCR	data lapangan/DCS
4	T suction			20.0		CCR	data lapangan/DCS
5	SG Water				1		at temp 20 - 25 oC ; 1 barA
6	<i>Electricity of Motor:</i>						
	Current	Amp				MCC	with PQA
	Voltage	Volt				MCC	with PQA
	Cos phi	PF				MCC	with PQA
	Power	kW	147.00			MCC	with PQA

4.3.6.3. Evaluasi Performa Pompa

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 25 Maret 2021 dengan load saat siang hari (jam 10.00 – 11.00 WIB). Berikut hasil simulasi evaluasi pompa *Raw Water Intake* dan Pompa *Booster* di PLTP Patuha Unit 1:

a. Pompa *Raw Water Intake* Cipaku

No.	Parameter Operasi Pompa Raw Water Intake di Cipaku	Satuan	Nilai pada Kondisi survey
1	Flowrate	m ³ /h	54.1
2	Temp. suction	oC	20.0
3	Press. Suction	bar.A	1.26
4	Press. Discharge	bar.A	2.65
5	Power Motor	kW	7.0
6	Efisiensi	%	30.9%
	Design Eff. Pompa HWP	%	39.4%
7	Gap. Efficiency	%	8.6%
8	Potensi penurunan listrik motor	kW	1.52
	% Potensi Saving Daya	%	21.8%
9	Load terhadap Kapasitas Pompa	%	50%
10	Load terhadap Rating Motor	%	64%

b. Pompa *Booster* Cipaku

No.	Parameter Operasi Pompa Booster di Cipaku	Satuan	Nilai pada Kondisi survey
1	Flowrate	m ³ /h	54.1
2	Temp. suction	oC	20.0
3	Press. Suction	bar.A	1.26
4	Press. Discharge	bar.A	61.00
5	Power Motor	kW	147.0
6	Efisiensi (aktual)	%	63.25%
	Design Eff. Pompa Booster	%	63.34%
7	Gap. Efficiency	%	0.1%
8	Potensi penurunan listrik motor	kW	0.21
	% Potensi Saving Daya	%	0.1%
9	Load terhadap Kapasitas Pompa	%	97%
10	Load terhadap Rating Motor	%	92%

Kesimpulan Performa pompa Cipaku PLTP Patuha Unit-1
(kondisi pengujian pada tanggal 23 Maret 2021, siang hari) adalah:

1. Motor pompa *raw water intake* Cipaku terlalu besar (*oversize*) dibandingkan dengan kapasitas pompa yang terpasang, sehingga efisiensi *overall (design)* berakibat rendah (efisiensi kurang dari 60%). Untuk Pompa *Booster*, design motor yang terpasang dengan pompa sudah sesuai sehingga efisiensi design sekitar 63.3% (antara 60 – 65% masih wajar untuk efisiensi pompa)
2. *Load* operasi pompa *Raw Water Intake* hanya sekitar 50% dari kapasitas rating pompa, dengan konsumsi daya motor listrik mencapai *load* 64% dari rating motor pompa. Ini berarti pompa memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah lagi dari design (yang sudah rendah desigannya).

Sedangkan untuk Pompa *Booster load* operasinya saat dilakukan *running test* sekitar 97% (sudah maksimal) dan konsumsi daya motor listriknya mencapai 92% dari rating motornya. Ini menunjukkan kondisi operasi pompa sudah baik, pada kondisi BEP nya.

3. Performa (efisiensi) pompa *Raw Water Intake* ini rendah karena faktor motor yang terpasang *oversize*.

Sedangkan efisiensi pompa *Booster* sudah baik (sesuai dengan desigannya) dan design pompa juga sudah tepat (size motor sesuai dengan pompa).

4. Untuk *improvement* sebaiknya *size* motor pompa *water intake* disesuaikan (diganti) dengan ukuran sesuai kapasitas pompa. Akan tetapi karena pertimbangan *running hours* pompa yang sangat rendah (hanya beroperasi satu hari dalam satu pekan), kemungkinan potensi penghematan energi dan biaya juga rendah.

BAB 5

EVALUASI PERFORMA ENERGI DI FASILITAS PENDUKUNG

5.1. Pendahuluan

Pola penggunaan energi listrik pada bangunan gedung umumnya tergantung pada teknologi penggunaan peralatan listrik yang digunakan (peralatan listrik dari yang sederhana hingga yang berteknologi tinggi) serta pola/karakteristik penggunaannya dalam menggunakan peralatan listrik.

Penggunaan peralatan-peralatan energi listrik memang idealnya haruslah terencana pada saat awal (di desain hemat energi). Namun demikian apabila peralatan-peralatan listrik tersebut sudah terpasang (eksisting) maka perlu dilakukan suatu kajian mengenai efektifitas peralatan-peralatan listrik tersebut yang tentunya orientasi kajian tersebut merujuk pada tujuan efisiensi energi.

Pemahaman hemat energi (efisiensi energi) bukanlah mengurangi energi tapi mengoptimalkan penggunaan energi secara rasional artinya penggunaan energi yang optimal tanpa harus mengurangi atau meninggalkan aspek kenyamanan visual maupun thermal ruangan serta aspek keamanan (*safety*).

Untuk itu, penilaian terhadap aspek-aspek tersebut merujuk pada SNI yang telah ada. Antara lain:

- SNI-03-6196-2000 Prosedure Audit Energi Pada Bangunan Gedung
- SNI-03-6197-2000 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan

- SNI-03-6390-2000 Konservasi Energi Sistem Tata Udara
- SNI 03-6389-2000 Konservasi Energi Selubung Bangunan

5.2. Gedung Kantor Admin PLTP

5.2.1. Indeks Efisiensi Energi Gedung

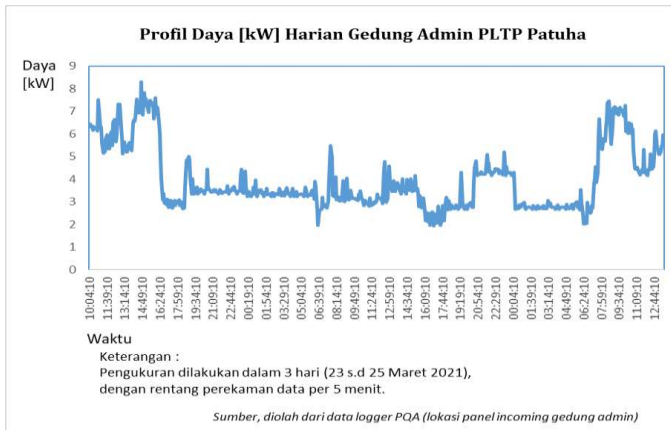


Gambar 5.1. Gedung admin PLTP Patuha

Secara fungsi, gedung admin termasuk pada kategori atau kriteria gedung perkantoran. Dengan demikian benchmarking nilai Indeks Efisiensi Energi gedung akan dibandingkan (*benchmarking*) dengan kategori gedung perkantoran.

Berdasarkan hasil pengukuran sumber energi listrik pada panel *incoming* gedung admin dengan menggunakan *power quality analyzer portable*. Gambar 5.2 adalah profil hasil pengukuran di panel *incoming* gedung.

Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh besaran-besaran sebagai berikut: 1). Daya nyata 8.32 kW; 2). Daya reaktif 1.21 kVAr; 3). Daya semu 8.49 kVA; dan 4). Energi listrik harian 101.13 kWh.



Gambar 5.2. Profil beban (daya) harian di gedung admin

Berdasarkan energi listrik harian tersebut dan besaran energi listrik pada hari sabtu dan minggu yang sebesar 42% dari konsumsi listrik harian. Maka konsumsi energi listrik bulanan dan tahunan di kantor admin adalah sebesar: 1). Konsumsi listrik bulanan sebesar 2,565.66 kWh/bulan; dan 2). Konsumsi listrik tahunan sebesar 30,775.88 kWh/tahun.

Tabel 5.1 adalah data mengenai luasan (luas ruangan) pada masing-masing ruangan yang terdapat pada gedung admin.

Tabel 5.1. Data luas ruangan, masing-masing ruangan di gedung admin

No	Ruangan	Panjang [m]	Lebar [m]	Luas [m ²]
1	Lobby	5.3	3.8	20.14
2	R.Meeting kawah ciwidey	5.5	5	27.5
3	Selasar	15.6	1.8	28.08
4	Toilet Pria	4	3	12
5	Toilet Wanita	4	3	12
6	Selasar tengah	13.2	1.2	15.84
7	R.Server	4.3	2.3	9.89
8	R.Meeting Cipaku	8.8	3.7	32.56
9	Musholla	5.8	4.8	27.84

Evaluasi Pemanfaatan Energi
PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha

10	Tempat wudlu	3.3	2.2	7.26
11	Ruangan kosong	1.8	1.6	2.88
12	R.Manager HSE	4.9	3.3	16.17
13	R.Staff HSE	5.8	5.8	33.64
14	R.Manager Maintenance	4.8	3.4	16.32
15	R.Maintenance	11.4	4.8	54.72
16	R.DSC	5.3	5.1	27.03
17	R.Sekretaris GM	5.3	2.8	14.84
18	R.General Manager	5.3	5.2	27.56
19	R.Manager Product	4.8	3.3	15.84
20	Dapur	5.8	2.8	16.24
21	R.Tunggu Driver	3.4	2.7	9.18
	Klinik			
22	R.Periksa Pasien	5.8	2.8	16.24
			Total	443.77

Berdasarkan data-data tersebut diatas, maka nilai Indeks Energi Efisiensi gedung adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Indeks} &= 2,565.66 \text{ (kWhperbulan)}/443.77 \text{ (m}^2\text{)} \\ &= 5.8 \text{ kWh/m}^2\text{perbulan} \end{aligned}$$

dan;

$$\begin{aligned} \text{Indeks} &= 30,775.88 \text{ (kWhpertahun)}/443.77 \text{ (m}^2\text{)} \\ &= 69.35 \text{ kWh/m}^2\text{pertahun} \end{aligned}$$

Rujukan atau referensi nilai indeks energi efisiensi yang akan diterapkan disini adalah PERMEN ESDM no. 13 tahun 2012. Berikut adalah saduran (kutipan) dari PERMEN ESDM No. 13 tahun 2012.

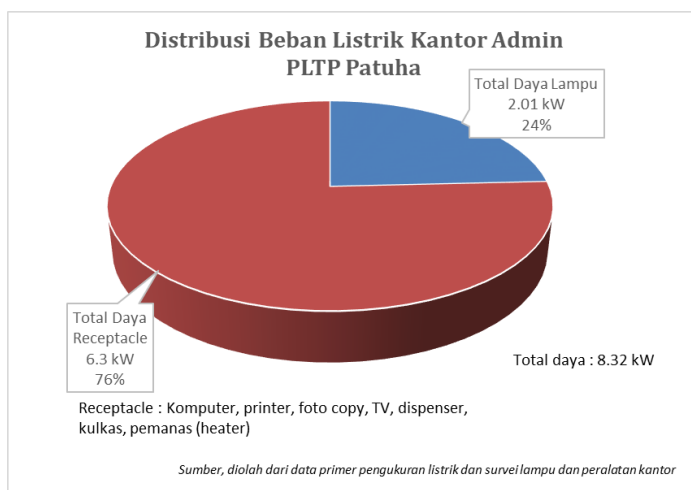
1). Gedung perkantoran ber AC:

Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m ² /bulan)
Sangat efisien	Lebih kecil dari 8.5
Efisien	8.5 sampai dengan lebih kecil dari 14
Cukup efisien	14 sampai dengan lebih kecil dari 18.5
Boros	Lebih besar sama dengan 18.5

2). Gedung perkantoran tanpa AC:

Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m ² /bulan)
Sangat efisien	Lebih kecil dari 3.4
Efisien	3.4 sampai dengan lebih kecil dari 5.6
Cukup efisien	5.6 sampai dengan lebih kecil dari 7.4
Boros	Lebih besar sama dengan 7.4

Berdasarkan data dan informasi aktual dimana kondisi dari gedung admin adalah gedung perkantoran tanpa AC, dengan demikian kategori penilaian indek efisiensi energi akan merujuk pada kriteria gedung tanpa AC.



Gambar 5.3. Distribusi energi listrik di gedung admin

$$\begin{aligned} \text{Indeks} &= [2,565.66 \text{ kWhperbulan} / 443.77 \text{ m}^2] \\ &= \mathbf{5.8 \text{ kWh/m}^2\text{perbulan}} \end{aligned}$$

Nilai ideks tersebut masuk pada kategori cukup efisien, yaitu berada pada range nilai **5.6** sampai dengan lebih kecil dari 7.4.

Distribusi energi listrik di gedung admin disajikan pada gambar 5.3.

5.2.2. Kualitas Sistem Suplai dan Distribusi Kelistrikan

5.2.2.1 Data dan Fakta Sistem Kelistrikan

Gambar 5.4 memperlihatkan proses pengukuran sistem kelistrikan di gedung Admin PLTP Patuha.

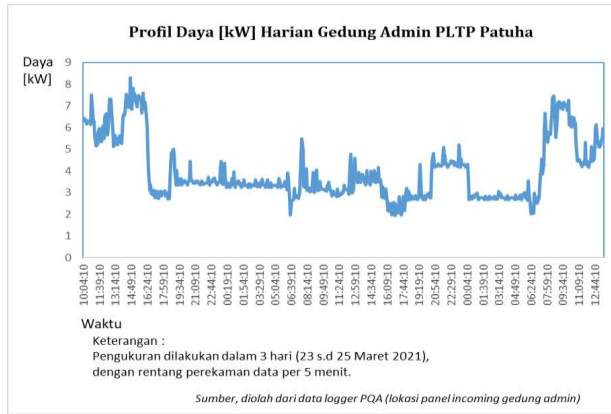


Gambar 5.4. Pengukuran kelistrikan di panel *incoming* gedung admin

5.2.2.2 Hasil Pengukuran di Sistem Kelistrikan

Berikut adalah hasil pengolahan data pengukuran di sistem kelistrikan gedung admin.

- a) Profil beban (daya), dapat dilihat pada gambar 5.5.

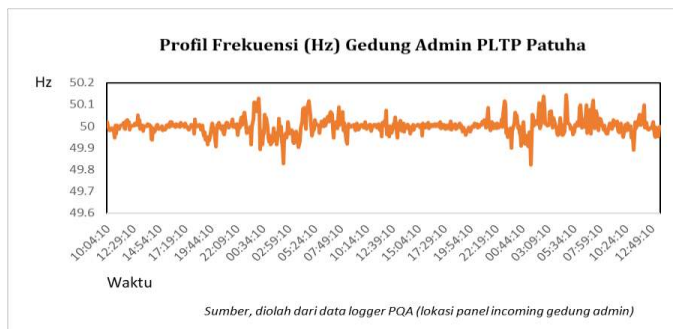


Gambar 5.5. Profil daya aktual yang terukur di panel incoming gedung admin

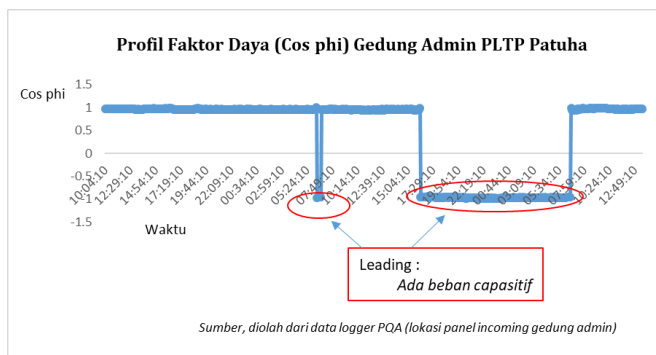
Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh besaran-besaran sebagai berikut:

- Daya nyata 8.32 kW;
- Daya reaktif 1.21 kVAr;
- Daya semu 8.49 kVA; dan
- Energi listrik harian 101.13 kWh.

b) Profil frekuensi (Hz) dan faktor daya ($\cos \phi$), dapat dilihat pada gambar 5.6. dan gambar 5.7.



Gambar 5.6. Profil frekuensi (Hz) yang terukur di panel incoming gedung admin

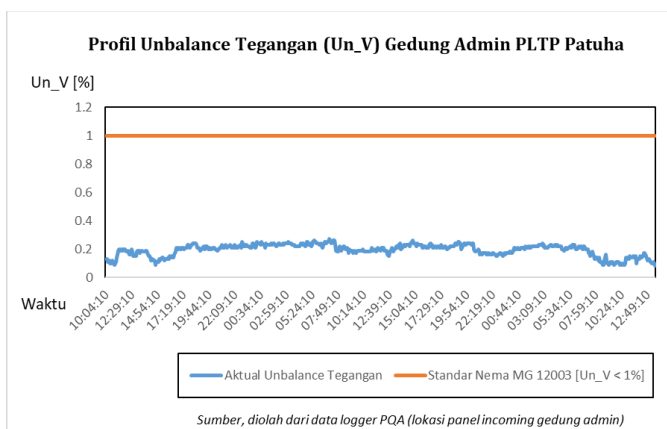


Gambar 5.7. Profil faktor daya ($\cos \phi$) yang terukur di panel *incoming* gedung admin

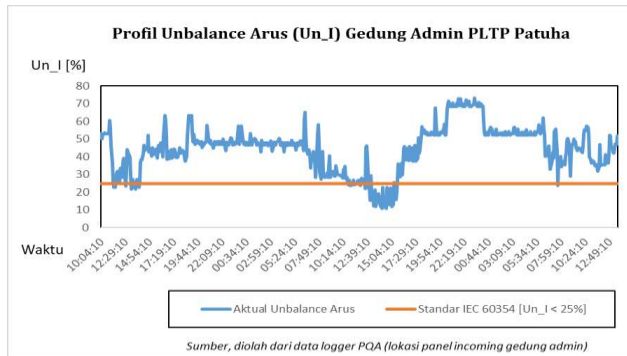
Berdasarkan grafik profil diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Frekuensi (Hz) masih memenuhi standar dimana rentang frekuensi terukur adalah 50 ± 1 ;
- Faktor daya ($\cos \phi$) masih memenuhi standar dimana rentang $\cos \phi$ terukur adalah 0.9 atau masih diatas 0.85.

c) *Unbalance* tegangan dan arus, dapat dilihat pada gambar 5.8 dan gambar 5.9.



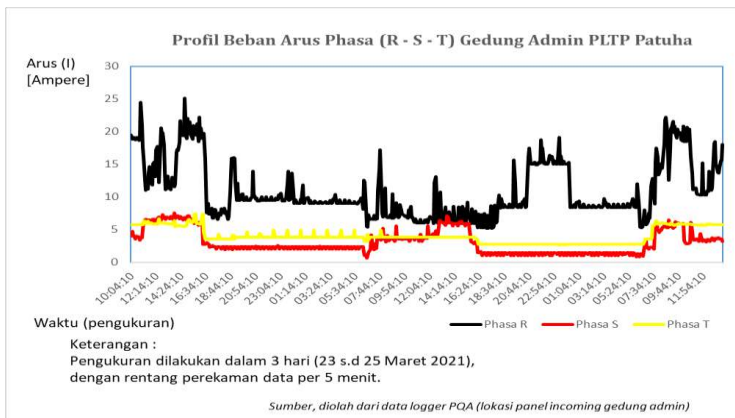
Gambar 5.8. Profil *unbalance* tegangan yang terukur di panel *incoming* gedung admin



Gambar 5.9. Profil *unbalance* arus yang terukur di panel *incoming* gedung admin

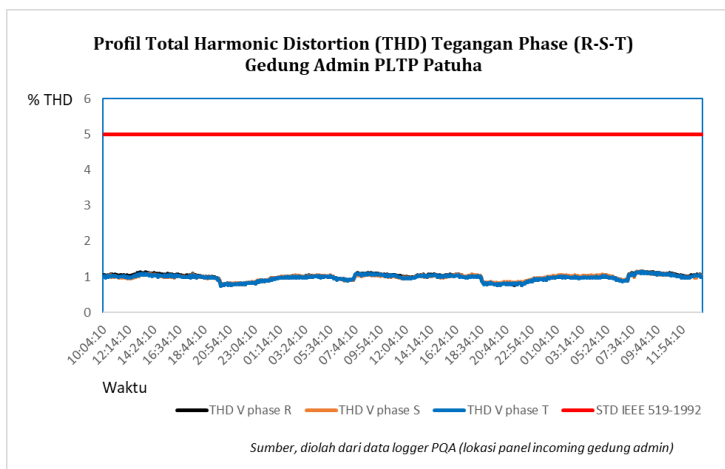
Berdasarkan grafik profil diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- *Unbalance* tegangan masih memenuhi standar, dimana nilai *unbalance* tegangan terukur masih dibawah 1%;
- *Unbalance* arus tidak memenuhi standar dimana nilainya telah melebihi nilai standar yang disyaratkan ($Un_I < 25\%$).
- Penyebabnya adalah sistem distribusi beban tidak terbagi secara merata, hal ini terlihat pada gambar dibawah dimana beban fase R lebih besar (atau terlalu banyak beban-beban yang mengambil sumber listrik dari fase R).
- Solusinya adalah harus di bagi beberapa beban dari fase R, dibagikan ke fase S dan fase T.

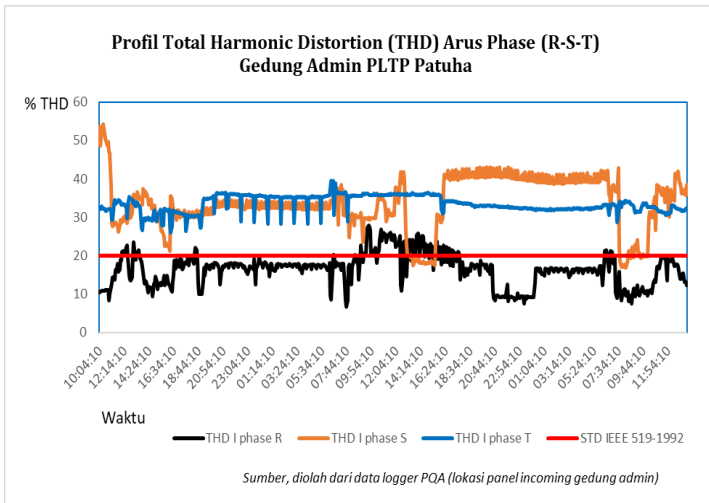


Gambar 5.10. Profil beban arus (R-S-T) yang terukur di panel incoming gedung admin

- d) THD (*Total harmonic distortion*) tegangan dan arus. Gambar 5.11 dan gambar 5.12 memperlihatkan profil THD tegangan dan arus fase R-S-T yang diukur di panel *incoming* gedung admin.



Gambar 5.11. Profil THD tegangan fase (R-S-T) di panel *incoming* gedung admin



Gambar 5.12. Profil THD arus fase (R-S-T) yang terukur di panel incoming gedung admin

Berdasarkan grafik profil diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- THD tegangan masih memenuhi standar, dimana nilai THD tegangan yang terukur masih dibawah 5%;
- THD arus tidak memenuhi standar dimana nilainya telah melebihi nilai standar yang disyaratkan ($THD_I < 20\%$).
- Meskipun demikian, pengaruh THD arus tersebut terhadap sistem kelistrikan masih dikatakan aman hal ini dapat dilihat pada beberapa aspek antara lain:
 - Profil THD orde ganjil (3,5,7,9,11, dst.) terlihat menurun (tidak menunjukkan profil menaik/membesar), lihat gambar dibawah;
 - Besaran arus (ampere) di fase S dan T masih relatif kecil (4 s.d 8 ampere), lihat grafik profil arus fase R-S-T diatas;



Gambar 5.13. Profil THD tegangan dan arus pada orde ganjil fase (R-S-T) yang terukur di panel incoming gedung admin

5.2.3. Kualitas (Kenyamanan) Visual dan Thermal Ruangan

5.2.3.1. Kenyamanan Visual (Tata Cahaya)

5.2.3.1.1. Data dan Fakta Sistem Tata Cahaya

Gambar 5.14 memperlihatkan kondisi tata cahaya ruangan yang terdapat di gedung administrasi.



Gambar 5.14. Tata cahaya di ruangan gedung admin PLTP Patuha.

5.2.3.1.2. Hasil Pengukuran di Sistem Tata Cahaya

Berikut adalah hasil pengolahan data pengukuran di sistem tata cahaya pada ruangan-ruangan di gedung admin PLTP Patuha.

Tabel 5.2. Hasil pengukuran kuat penerangan di ruangan-ruangan gedung admin PLTP Patuha

No	Nama Ruangan	Survey Tata Cahaya									
		Lampu			Penyalaaan		Kuat Penerangan				Keterangan
		Jenis	Watt	Pcs	ya,	tdk	LUX				
					Pcs	Pcs	1	2	3	Standar	
Kantor Operasional											
1	Lobby	LED	13	4	4	-	595	354	321	100	Memenuhi
2	R.Meeting kawah ciwidey	LED	18	8	8	-	181	166	213	300	Tdk. Memenuhi
		L.sorot	4	4	4	-					
3	Selasar	LED	13	5	5	-	121	186	48	100	Memenuhi
4	R.Server	TL	20	1	1	-	35	45	46	350	Tdk. Memenuhi
5	R.Meeting Cipaku	TL	20	6	6	-	86	52	74	300	Tdk. Memenuhi
6	Musholla	TL	20	8	8	-	118	136	138	200	Tdk. Memenuhi
7	R.Manager HSE	TL	20	4	2	2	58	73	52	350	Tdk. Memenuhi
8	R.Staff HSE	TL	20	8	6	2	170	125	110	350	Tdk. Memenuhi
9	R.Manager Maintenance	TL	20	4	4	-	59	65	67	350	Tdk. Memenuhi
10	R.Maintenance	TL	20	16	16	-	68	67	66	350	Tdk. Memenuhi
11	R.DSC	TL	20	8	7	1	98	93	94	350	Tdk. Memenuhi
12	R.Sekretaris GM	TL	20	4	4	-	135	105	97	350	Tdk. Memenuhi
13	R.General Manager	TL	20	12	12	-	123	118	122	350	Tdk. Memenuhi
14	R.Manager Product	TL	20	4	4	-	68	67	75	350	Tdk. Memenuhi
Klinik											
15	R.Periksa Pasien	TL	20	4	4	-	417	480	743	300	Memenuhi

Tabel 5.3. Hasil pengukuran spesifik daya lampu di ruangan-ruangan gedung admin PLTP Patuha

No	Nama Ruangan	Survey Tata Cahaya								
		P	L	A	Daya lampu	Jumlah lampu	Total Daya	Specific daya lampu [Watt/m ²]		
		[m]	[m]	[m ²]	Watt	Pcs	Watt	Aktual	Standar	Keterangan
Kantor Operasional										
1	Lobby	5.3	3.8	20.14	13	4	52	2.58	10	Memenuhi
2	R.Meeting kawah ciwiday	5.5	5	27.5	18	8	160	5.82	15	Memenuhi
					4	4				
3	Selasar	15.6	1.8	28.08	13	5	65	2.31	10	Memenuhi
4	R.Server	4.3	2.3	9.89	20	1	20	2.02	15	Memenuhi
5	R.Meeting Cipaku	8.8	3.7	32.56	20	6	120	3.69	15	Memenuhi
6	Musholla	5.8	4.8	27.84	20	8	160	5.75	20	Memenuhi
7	R.Manager HSE	4.9	3.3	16.17	20	4	80	4.95	15	Memenuhi
8	R.Staff HSE	5.8	5.8	33.64	20	8	160	4.76	15	Memenuhi
9	R.Manager Maintenance	4.8	3.4	16.32	20	4	80	4.90	15	Memenuhi
10	R.Maintenance	11.4	4.8	54.72	20	16	320	5.85	15	Memenuhi
11	R.DSC	5.3	5.1	27.03	20	8	160	5.92	15	Memenuhi
12	R.Sekretaris GM	5.3	2.8	14.84	20	4	80	5.39	15	Memenuhi
13	R.General Manager	5.3	5.2	27.56	20	12	240	8.71	15	Memenuhi
14	R.Manager Product	4.8	3.3	15.84	20	4	80	5.05	15	Memenuhi
Klinik										
15	R.Periksa Pasien	5.8	2.8	16.24	20	4	80	4.93	15	Memenuhi

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa meskipun secara nilai spesifik daya penerangan masuk kategori Hemat Energi (lihat Tabel 5.3), namun nilai kuat penerangan banyak yang tidak memenuhi (lihat Tabel 5.2). Hal ini disebabkan oleh:

- ✓ Tata letak (*layout*) lampu tidak sesuai dengan *layout* meja kerja;
- ✓ Kapasitas lampu (daya dan lumen) yang digunakan kurang dari kebutuhan luasan bidang kerja; dan
- ✓ Pengaruh dari lampu yang sudah derating (kinerjanya menurun) sebaiknya diganti.

5.2.3.1.3. Temuan (*findings*) di Sistem Tata Cahaya

Dari hasil pengamatan pada saat survei Audit Energi dan juga hasil dari pengukuran kuat penerangan/kenyamanan visual di ruangan-ruangan di gedung admin PLTP Patuha. Berikut adalah beberapa findings atau temuan pada sistem tata cahaya:



- Tata letak lampu tidak sesuai atau pas dengan layout meja.
- Sebaiknya arah letak lampu memanjang mengikuti arah meja. Atau sebaliknya arah meja yang mengikuti arah memanjangnya lampu.



- Daya lampu kurang dari yang dibutuhkan, sehingga lumen yang dihasilkan tidak memenuhi standar kuat penerangan.
- Eksisting adalah TL 20 Watt, seharusnya adalah TL 36 Watt dan arah lampunya memanjang mengikuti arah memanjang meja kerja.

5.2.3.1.4. Analisis dan Evaluasi di Sistem Tata Cahaya

Studi kasus: Ruang Kerja Staf *Maintenance*.

Dari beberapa findings atau temuan di sistem tata cahaya (visual) yang telah di uraikan diatas. Secara umum permasalahannya adalah:

Findings sistem tata cahaya:

- *Layout* lampu tidak sesuai dengan *layout* ruang kerja; dan
- Daya lampu kurang dari kapasitas tata cahaya yang dibutuhkan di ruang kerja.

Berikut akan dibuat suatu simulasi ruangan yang memenuhi aspek kualitas visual untuk ruangan kerja, dan yang menjadi studi kasus adalah ruangan staf *maintenance*. Sehingga dari studi kasus yang di rancang ini dapat direplikasi untuk ruangan-ruangan lainnya kedepannya.

a) Ruang Kerja Staf *Maintenance*



Deskripsi ruangan:

- Luas : 11.4 x 4.8 m
- Tinggi dari lantai ke *ceiling* (langit-langit): 2.9 m
- Tinggi dari bidang meja ke *ceiling*: 2.2 m
- Jenis Lampu : TL 2x20 watt (per armatur)

Hasil Pengukuran:

- Nilai Lux : 68, 67, 66 < 350 LUX (tidak memenuhi standar)
- Spesific daya penerangan: 5.85 Watt/m² < 15 Watt/m² (Memenuhi standar)

b) *Analisis dan Evaluasi*

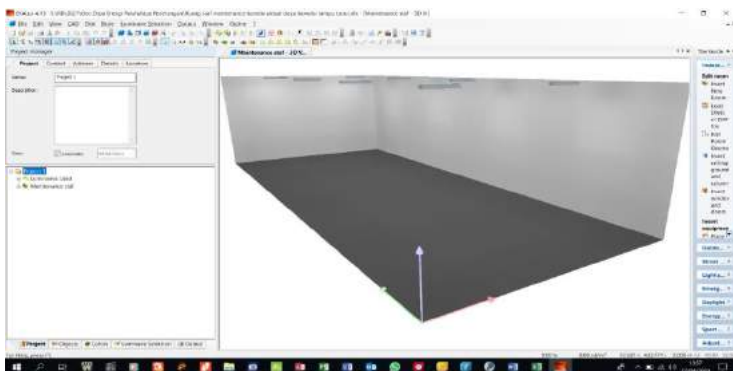
Analisis akan dikondisikan dalam 2 (dua) simulasi:

Simulasi 1: Identifikasi daya lampu yang saat ini terpasang (kondisi lampu baru dengan daya lampu sama dengan daya yang saat ini terpasang).

Simulasi 2: Identifikasi *re-layout* 90 derajat dengan jumlah lampu dan daya yang dibutuhkan hingga terpenuhinya standar kuat penerangan.

Simulasi 1:

Identifikasi daya lampu yang saat ini terpasang (kondisi lampu baru dengan daya lampu sama dengan daya yang saat ini terpasang).



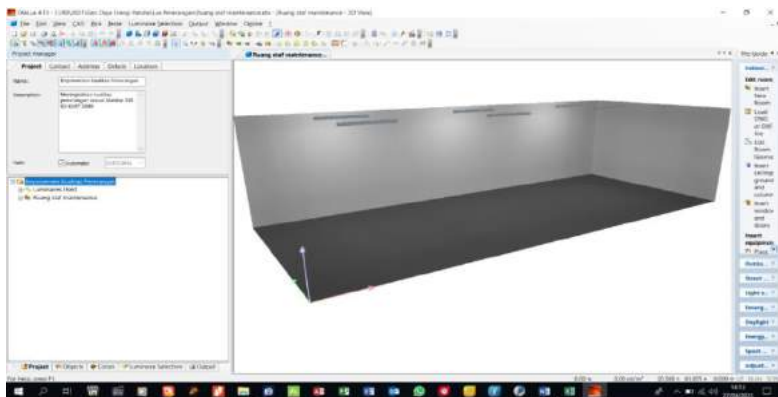
Evaluasi:

Dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa dengan kondisi *layout* lampu saat ini dan menggunakan daya lampu TL 18 watt (baru), sebaran kuat penerangan masih kurang dari kebutuhan nilai LUX yang distandarkan SNI.

Sebaran kuat penerangan : 180; 210; 240

Simulasi 2:

Identifikasi lampu di *re-layout* 90 derajat dengan jumlah lampu dan daya yang dibutuhkan hingga terpenuhinya standar kuat penerangan.



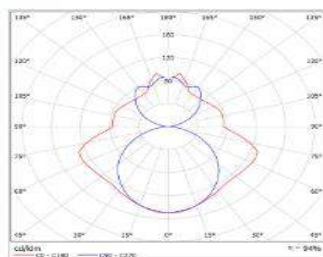
PHILIPS TMS022 2xTL-D36W HFS / Luminaire Data Sheet



Luminaire classification according to CIE: 63
CIE flux code: 34 61 84 63 94

Lineco TMS022 – an economical choice Lineco TMS022 is a functional and economical surface-mounted ballast for 1 or 2 TL-D fluorescent lamps. It offers a choice of two options for symmetrical and asymmetrical lighting. Installation is quick and tool-less and can be carried out single-handedly. The reproducible standard block enables flexible connection (with cable entry centrally or via the end caps). A wide range of snap-on attachments is available.

Luminous emittance 1:



Luminous emittance 1:

Glare Evaluation According to UGR												
Room Size (m ²)	Viewing direction of light source (°)						Viewing direction of light source (°)					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	0°	15°	30°	45°	60°	75°
24	24	19.9	16.9	14.6	12.7	11.4	55.1	59.4	16.1	16.1	16.1	16.1
36	36	27.2	22.4	19.4	17.4	15.4	36.9	39.1	18.1	18.1	18.1	18.1
48	48	29.4	24.6	21.6	19.6	17.6	28.4	30.4	19.1	19.1	19.1	19.1
60	60	31.6	26.8	23.8	21.8	19.8	20.2	21.2	20.2	20.2	20.2	20.2
72	72	33.8	29.0	26.0	24.0	22.0	15.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2
84	84	36.0	31.2	28.2	26.2	24.2	11.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2
96	96	38.2	33.4	30.4	28.4	26.4	8.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
108	108	40.4	35.6	32.6	30.6	28.6	5.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
120	120	42.6	37.8	34.8	32.8	30.8	2.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
132	132	44.8	40.0	37.0	35.0	33.0	0.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
144	144	47.0	42.2	39.2	37.2	35.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
156	156	49.2	44.4	41.4	39.4	37.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
168	168	51.4	46.6	43.6	41.6	39.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
180	180	53.6	48.8	45.8	43.8	41.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
192	192	55.8	51.0	48.0	46.0	44.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
204	204	58.0	53.2	50.2	48.2	46.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
216	216	60.2	55.4	52.4	50.4	48.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
228	228	62.4	57.6	54.6	52.6	50.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
240	240	64.6	59.8	56.8	54.8	52.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
252	252	66.8	62.0	59.0	57.0	55.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
264	264	69.0	64.2	61.2	59.2	57.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
276	276	71.2	66.4	63.4	61.4	59.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
288	288	73.4	68.6	65.6	63.6	61.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
300	300	75.6	70.8	67.8	65.8	63.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
312	312	77.8	73.0	70.0	68.0	66.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
324	324	80.0	75.2	72.2	70.2	68.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
336	336	82.2	77.4	74.4	72.4	70.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
348	348	84.4	79.6	76.6	74.6	72.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
360	360	86.6	81.8	78.8	76.8	74.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
372	372	88.8	84.0	80.8	78.8	76.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
384	384	91.0	86.2	83.0	81.0	79.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
396	396	93.2	88.4	85.2	83.2	81.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
408	408	95.4	90.6	87.4	85.4	83.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
420	420	97.6	92.8	89.6	87.6	85.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
432	432	99.8	95.0	91.8	89.8	87.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
444	444	102.0	97.2	94.0	92.0	90.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
456	456	104.2	99.4	96.2	94.2	92.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
468	468	106.4	101.6	98.4	96.4	94.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
480	480	108.6	103.8	100.6	98.6	96.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
492	492	110.8	106.0	102.8	100.8	98.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
504	504	113.0	108.2	105.0	103.0	101.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
516	516	115.2	110.4	107.2	105.2	103.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
528	528	117.4	112.6	109.4	107.4	105.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
540	540	119.6	114.8	111.6	109.6	107.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
552	552	121.8	117.0	113.8	111.8	109.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
564	564	124.0	119.2	116.0	114.0	112.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
576	576	126.2	121.4	118.2	116.2	114.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
588	588	128.4	123.6	120.4	118.4	116.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
600	600	130.6	125.8	122.6	120.6	118.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
612	612	132.8	128.0	124.8	122.8	120.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
624	624	135.0	130.2	127.0	125.0	123.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
636	636	137.2	132.4	129.2	127.2	125.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
648	648	139.4	134.6	131.4	129.4	127.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
660	660	141.6	136.8	133.6	131.6	129.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
672	672	143.8	139.0	135.8	133.8	131.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
684	684	146.0	141.2	138.0	136.0	134.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
696	696	148.2	143.4	140.2	138.2	136.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
708	708	150.4	145.6	142.4	140.4	138.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
720	720	152.6	147.8	144.6	142.6	140.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
732	732	154.8	150.0	146.8	144.8	142.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
744	744	157.0	152.2	149.0	147.0	145.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
756	756	159.2	154.4	151.2	149.2	147.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
768	768	161.4	156.6	153.4	151.4	149.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
780	780	163.6	158.8	155.6	153.6	151.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
792	792	165.8	161.0	157.8	155.8	153.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
804	804	168.0	163.2	160.0	158.0	156.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
816	816	170.2	165.4	162.2	160.2	158.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
828	828	172.4	167.6	164.4	162.4	160.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
840	840	174.6	169.8	166.6	164.6	162.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
852	852	176.8	172.0	168.8	166.8	164.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
864	864	179.0	174.2	171.0	169.0	167.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
876	876	181.2	176.4	173.2	171.2	169.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
888	888	183.4	178.6	175.4	173.4	171.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
900	900	185.6	180.8	177.6	175.6	173.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
912	912	187.8	183.0	179.8	177.8	175.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
924	924	190.0	185.2	182.0	180.0	178.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
936	936	192.2	187.4	184.2	182.2	180.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
948	948	194.4	189.6	186.4	184.4	182.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
960	960	196.6	191.8	188.6	186.6	184.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
972	972	198.8	194.0	190.8	188.8	186.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
984	984	201.0	196.2	193.0	191.0	189.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
996	996	203.2	198.4	195.2	193.2	191.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1008	1008	205.4	200.6	197.4	195.4	193.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1020	1020	207.6	202.8	199.6	197.6	195.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1032	1032	209.8	205.0	201.8	199.8	197.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1044	1044	212.0	207.2	204.0	202.0	200.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1056	1056	214.2	209.4	206.2	204.2	202.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1068	1068	216.4	211.6	208.4	206.4	204.4	0.2	0.2	0.			

Dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa dengan kondisi *layout* lampu dirubah 90 derajat ternyata Kuat Penerangan tercapai atau memenuhi standar SNI.

Sebaran kuat penerangan: 270; 360; 450

Kesimpulannya adalah:

- Daya lampu yang terpasang saat ini terbukti kurang dari seharusnya (lihat simulasi 1 diatas), seharusnya 36 Watt bukan 20 Watt;
- Dengan merubah *layout* lampu 90 derajat dari sistem *layout* lampu saat ini terpasang serta daya lampu menggunakan 36 Watt, terlihat dapat meningkatkan Kuat Penerangan di ruangan;
- Spesifik daya lampu adalah: 7.84 W/m² (masih memenuhi standar, yaitu < 15 W/m²);
- Kekurangannya adalah terjadi kenaikan daya lampu sebesar 42% dari saat ini, yaitu dari 304 Watt menjadi 432 Watt:
 - Sebelumnya 8 pcs lampu jenis TL 2x18 Watt, total daya adalah 304 Watt (standar kuat penerangan tidak terpenuhi)
 - Rekomendasi 6 pcs lampu jenis TL-D36 Watt, total daya adalah 432 Watt (standar kuat penerangan dan spesifik daya lampu terpenuhi)

Berdasarkan hasil evaluasi di atas. Untuk meningkatkan besaran kuat penerangan di sistem tata cahaya gedung admin PLTP Patuha, sudah seharusnya menambah daya (kapasitas) lampu, dan daya lampu yang dibutuhkan sekitar 42% (dengan menggunakan jenis lampu TL LED 2x36 Watt) berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan diatas.

Dengan demikian potensi penambahan daya (sebagai konsekuensi penambahan daya lampu) adalah sebagai berikut:

Eksisting:	Potensi penambahan daya dari lampu
Total daya lampu 2.01 kW	Total daya lampu 2.85 kW
Total daya <i>receptacle</i> 6.3 kW	Total daya <i>receptacle</i> 6.3 kW
Total daya gedung admin: 8.32 kW	Total daya gedung admin: 9.15 kW

5.2.4. Potensi PLTS *on-grid* Sebagai Sumber Daya Alternatif

Energi surya merupakan energi yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia yang sangat diperlukan saat-saat ini khususnya saat krisis energi di tanah air. Potensi energi surya di wilayah Indonesia yang dilewati oleh garis khatulistiwa merupakan wilayah yang tersinari oleh matahari sepanjang tahun dan meningkat intensitas pada saat kemarau panjang, artinya potensi pemanfaatan energi surya melalui teknologi sel *photovoltaic* (PV) ini tidak terbatas di wilayah Indonesia.

Untuk Kantor Utama PLTP Patuha (Gedung Admin), salah satu pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya sebagai energi baru terbarukan (*renewable energy*) adalah mengganti pasokan listrik dari pembangkit pada beban selama siang hari (aktifitas kantor). Sedangkan untuk sumur – sumur yang tersebar di area PLTP potensinya adalah menggunakan PLTS untuk lampu kawasan yang menerangi area sumur pada malam hari. PLTS berpotensi dipasang diatas gedung (*rooftop*) dengan sistem pembangkitan surya secara *On-Grid* (interkoneksi dengan jaringan listrik di bangunan). Pertimbangan pemasangan PLTS *Rooftop* dengan sistem *On-Grid* adalah sebagai berikut:

- a. Upaya Perusahaan dalam menurunkan emisi CO₂ dengan menggunakan energi terbarukan (non-fosil) sehingga sejalan dengan misi perusahaan untuk mendorong energi terbarukan;

- b. Sebagai upaya ikut serta dalam pengelolaan lingkungan hidup untuk menghindari pemanasan global dengan menghindari emisi gas rumah kaca (*CO2 emission*);

Perhitungan nilai potensi penghematan energi dengan pemasangan PLTS *on-grid* di area PLTP Patuha akan dibahas pada Bab 6 Potensi Penghematan Energi.

5.2.4.1. Kenyamanan *Thermal* (Tata Udara)

5.2.4.1.1. Sistem Tata Udara

Gedung admin PLTP Patuha terletak diketinggian ± 2000 mdpl, kelembapan yang terukur di *outdoor* gedung 87%RH dan temperatur 16 °C. Berdasarkan gambaran kondisi thermal tersebut maka gedung admin tidak menggunakan peralatan/unit-unit AC sebagai alat untuk pengkondisian udara di ruangan-ruangan kerja.

Bagian berikut adalah gambaran hasil pengukuran besaran kelembapan relatif dan temperatur pada ruangan-ruangan kerja di gedung admin.

5.2.4.1.2. Hasil Pengukuran di Sistem Tata Cahaya

Berikut adalah data hasil pengukuran thermal ruangan di gedung admin PLTP Patuha.

No	Nama Ruangan	Survey Kenyamanan Thermal Ruangan					
		Kelembaban (%RH) Ruangan			Temp. Ruangan (°C)		
		Aktual	Acuan	Keterangan	Aktual	Acuan	Keterangan
Kantor Operasional							
1	Lobby	74	30 - 70	Gedung admin, tidak menggunakan sistem pengkondisian udara. Dan berdasarkan data hasil pengukuran	20	23 - 26	Gedung admin, tidak menggunakan sistem pengkondisian udara. Dan berdasarkan data hasil pengukuran pada area luar
2	R.Meeting kawah ciwidey	74	40 - 60		22	23 - 26	
3	Selasar	75	30 - 70		20	23 - 26	
4	R.Server	77	40 - 60		21	18	
5	R.Meeting Cipaku	77	40 - 60		22	23 - 26	

No	Nama Ruangan	Survey Kenyamanan Thermal Ruangan					
		Kelembaban (%RH) Ruangan			Temp. Ruangan (°C)		
		Aktual	Acuan	Keterangan	Aktual	Acuan	Keterangan
6	Musholla	77	40 - 60	pada area luar gedung, terukur temperatur 16 celcius dan kelembaban (%RH) 87%. Sehingga sulit untuk memenuhi rujukan tersebut	22	23 - 26	gedung, terukur temperatur 16 celcius dan kelembaban (%RH) 87%. Sehingga sulit untuk memenuhi rujukan tersebut
7	R.Manager HSE	78	40 - 60		21	23 - 26	
8	R.Staff HSE	78	40 - 60		20	23 - 26	
9	R.Manager Maintenance	77	40 - 60		21	23 - 26	
10	R. Staff Maintenance	77	40 - 60		22	23 - 26	
11	R.DSC	78	40 - 60		22	23 - 26	
12	R.Sekretaris GM	75	40 - 60		22	23 - 26	
13	R.General Manager	75	40 - 60		22	23 - 26	
14	R.Manager Product	76	40 - 60		21	23 - 26	
Klinik							
15	R.Periksa Pasien	76	40 - 60	21	23 - 26		

5.2.5. Selubung Bangunan

5.2.5.1. Konsep dan Metode Perhitungan OTTV

Perencanaan/perancangan selubung bangunan yang optimal dapat menghasilkan penggunaan energi yang efisien.

Sistem selubung bangunan ini mengacu pada standar SNI 03-6389-2000. Nilai acuan/referensi yang digunakan sebagai standar adalah nilai OTTV (*Overall thermal transfer value*) dan nilai RTTV (*Roof thermal transfer value*).

Untuk menghitung besaran/nilai OTTV dan RTTV pada bangunan gedung maka selubung bangunan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- Berlaku hanya untuk komponen dinding dan atap pada bangunan gedung yang dikondisikan.
- Perolehan panas radiasi matahari total untuk dinding dan atap tidak boleh melebihi nilai perpindahan panas/thermal

menyeluruh sebagaimana tercantum didalam standar yaitu
 $OTTV \leq 45 \text{ Watt/m}^2$.

Berikut ini adalah persamaan untuk mencari nilai OTTV_i (nilai OTTV pada suatu sisi/bidang dinding tertentu) dan OTTV (jumlah OTTV_i).

$$OTTV_i = \alpha \times [U_w \times (1 - WWR)] \times TDek + (SC \times WWR \times SF) + (U_f \times WWR \times \Delta T)$$

Dimana:

OTTV_i : Nilai perpindahan thermal/panas menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (Watt/m²).

α : absorbtansi radiasi matahari.

U_w : Transmittansi thermal dinding tak tembus cahaya (Watt/m².°K).

WWR : Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan (tertentu).

TDek : Beda temperatur ekivalen (°K).

SC : Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.

SF : Faktor radiasi matahari (W/m²).

U_f : Transmittansi thermal fenestrasi (Watt/m².°K).

ΔT : Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5 °K).

Untuk menghitung OTTV seluruh dinding luar, digunakan rumus sebagai berikut:

$$OTTV = \frac{(A_i \times OTTV_i) + \dots + (A_n \times OTTV_n)}{A_i + \dots + A_n}$$

Dimana:

- Ai : Luas dinding pada bagian dinding luar i (m²). Luas ini termasuk semua permukaan dinding tak tembus cahaya dan luas permukaan jendela yang terdapat pada bagian dinding tersebut.
- OTTVi : Nilai perpindahan thermal/panas menyeluruh pada bangunan gedung.

Berikut ini adalah persamaan untuk mencari nilai RTTV (*Roof thermal transfer value*/nilai perpindahan thermal/panas dari penutup atap).

$$RTTV = \frac{\alpha \times (A_r \times U_r \times TDek) + (A_s + U_s + \Delta T) + (A_s \times SC \times Sf)}{A_o}$$

Dimana:

- RTTV : Nilai perpindahan thermal atap yang memiliki arah tertentu (Watt/m²)
- α : Absorbtansi radiasi matahari.
- Ar : luas atap yang tidak tembus cahaya (m²).
- As : Luas skylight (m²).
- Ao : luas total atap Ar + As (m²).
- Ur : Transmittansi thermal atap tak tembus cahaya (Watt/m².°K).
- TDek : Beda temperatur ekuivalen (°K).
- SC : Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.
- Sf : Faktor radiasi matahari (W/m²).
- Us : Transmittansi thermal fenestrasi/skylight (Watt/m².°K).
- ΔT : Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan dalam (diambil 5 °K).

Berikut ini tabel-tabel rujukan untuk mencari nilai-nilai yang dibutuhkan dalam menentukan nilai OTTV dan RTTV.

Tabel 5.4. Nilai α (Absorbtansi radiasi matahari)

Tabel untuk mencari nilai α	
BAHAN DINDING LUAR	α
Bata merah	0.89
Beton ringan	0.86
Kayu permukaan halus	0.78
Beton ekspos	0.61
Ubin putih	0.58
Bata kuning tua	0.56
Atap putih	0.5
Seng putih	0.26
Bata gelazur putih	0.25
Lembaran aluminium yang dikilapkan	0.12

Tabel 5.5. Nilai Rup dan Rul (resistansi thermal permukaan dinding)

Tabel untuk mencari nilai R		
Jenis Permukaan		Resistansi Thermal R ($m^2.K/Watt$)
Permukaan Dalam (Rup)	Emisifitas tinggi ¹⁾	0.12
	Emisifitas rendah ²⁾	0.299
Permukaan Luar (Rul)	Emisifitas tinggi	0.044

Tabel 5.6. Nilai Tdek untuk karakteristik dinding bangunan

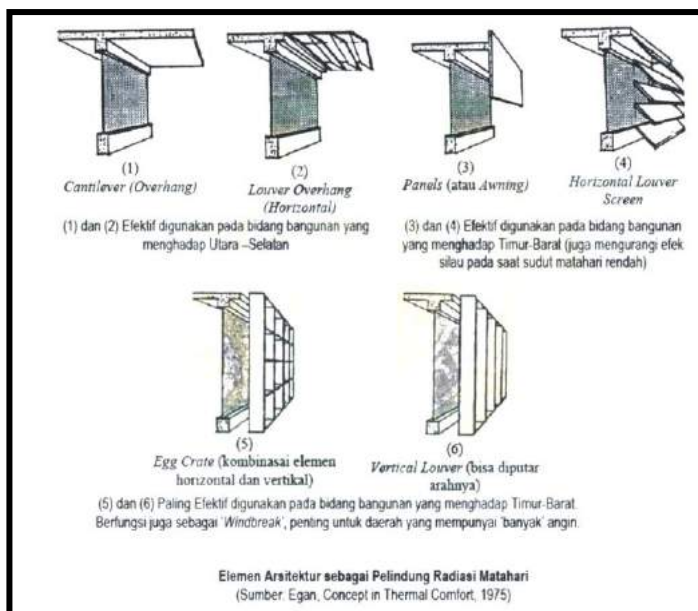
Berat/satuan luas (Kg/m ²)	Tdek
Kurang dari 125	15
126 ~ 195	12
Lebih dari 195	10

Tabel 5.7. Nilai Rk untuk berbagai jenis bahan dinding dan pelapis dinding

Bahan Bangunan	Densitas (Kg/m ³)	K (W/m.K)
Beton	2400	1.448
Beton ringan	960	0.303
Bata dengan lapisan plaster	1760	0.807
Bata langsung dipasang tanpa plaster, tahan terhadap cuaca		1.154
Plesteran semen pasir	1568	0.533
Kaca lembaran	2512	1.053
Papan gypsum	880	0.17
Kayu lunak	608	0.125
Kayu keras	702	0.138
Kayu lapis	528	0.148
Glasswool	32	0.035
Fibreglass	32	0.035
Paduan Aluminium	2672	211
Tembaga	8784	385
Baja	7840	47.6
Granit	2640	2.927
Marmer/terazo/keramik/mozaik	2640	1.298
Keterangan: $R_k = t \times 1/K$		

Tabel 5.8. Nilai SF untuk berbagai orientasi bangunan

Orientasi	SF (W/m ²)
U (Utara)	130
TL (Timur laut)	113
T (Timur)	112
TG (Tenggara)	97
S (Selatan)	97
BD (Barat daya)	176
B (Barat)	243
BL (Barat laut)	211
Keterangan: rata-rata untuk seluruh orientasi $SF = 147$	



Gambar 5.15. Elemen arsitektur sebagai pelindung radiasi matahari (ada hubungannya dengan nilai SC/Shading coefficient).

Tabel 5.9. Nilai SC/Shading coefficient untuk berbagai tipe Elemen arsitektur sebagai pelindung radiasi matahari

Shading Coefficient untuk Elemen Arsitektur

No.	Elemen Pelindung	<i>Shading Coefficient</i>
	Elemen arsitektur (eksternal):	
1	<i>Egg-Crate</i>	0,10
2	Panel atau Awning (warna muda)	0,15
3	<i>Horizontal Louver Overhang</i>	0,20
4	<i>Horizontal Louver Screen</i>	0,60 – 0,10
5	<i>Cantilever</i>	0,25
6	<i>Vertical Louver</i> (permanen)	0,30
7	<i>Vertical Louver</i> (moevable)	0,15-0,10

Sumber: *Concept in the Thermal Comfort*, M. David Egan.

Tabel 5.10. Nilai SC/*Shading coefficient* untuk elemen lansekap (vegetasi) sebagai pelindung radiasi matahari

No	Elemen Pelindung	<i>Shading Coefficient</i>
Elemen Lansekap		
1	Pohon tua (dengan efek pembayang yang besar)	0,25 – 0,20
2	Pohon muda (dengan sedikit efek pembayang)	0,60 – 0,50

Disalin: Concept in the thermal comfort, M. David Egan

Tabel 5.11. Nilai SC/*Shading coefficient* untuk berbagai jenis material kaca

No	Penggunaan Kaca			<i>Shading Coefficient</i>
	Jenis Kaca	Warna	Tebal	
1	Kaca bening	-	¼ inch	0,95
		-	3/8 inch	0,90
2	Heat Absorbing glass	Abu-abu, bronze, green tinted	3/16 inch	0,75
			½ inch	0,50
3	Revlective glass	Dark gray metallized		0,35 – 0,30
		Light gray metallized		0,60 – 0,35

Disalin: Concept in the thermal comfort, M. David Egan

Berdasarkan persamaan OTTV diatas maka ada beberapa parameter yang dapat memperkecil nilai OTTV (OTTV kecil lebih optimum suatu bangunan dalam menahan beban thermal menyeluruh dari radiasi matahari), antara lain:

WWR (*Window to wall ratio*), nilai ini merupakan nilai rasio luas jendela terhadap luas dinding pada suatu orientasi tertentu. Semakin kecil nilai WWR akan membuat nilai OTTV kecil juga, hal ini berarti mengoptimalkan luasan jendela yang dipasang.

Uw (*Transmitansi thermal* dinding), ini berhubungan dengan jenis material yang digunakan untuk dinding dan sistem pelapis dinding semakin kecil nilai Uw maka nilai OTTV juga akan kecil, hal ini

berarti material dinding yang digunakan adalah bahan yang memiliki resistansi termal yang besar.

SC (*Shading coefisien*/Koefisien peneduh), bahan yang memiliki shading misalkan Kaca yang menggunakan kaca film dan atau kaca yang ditutupi dengan suatu gordyn/tirai (*interior curtain*), tembok atau peneduh atau rasio luas kaca yang terekspos bernilai kecil. Vegetasi (tanaman dan tumbuh-tumbuhan) juga dapat berfungsi sebagai peneduh.

5.2.5.2. Selubung Bangunan

Gedung Admin PLTP Patuha.



Gambar 5.15. Gedung Admin PLTP Patuha

Berikut merupakan data dan informasi mengenai bangunan:

Fungsi: Bangunan perkantoran.

Jumlah lantai: 1 lantai

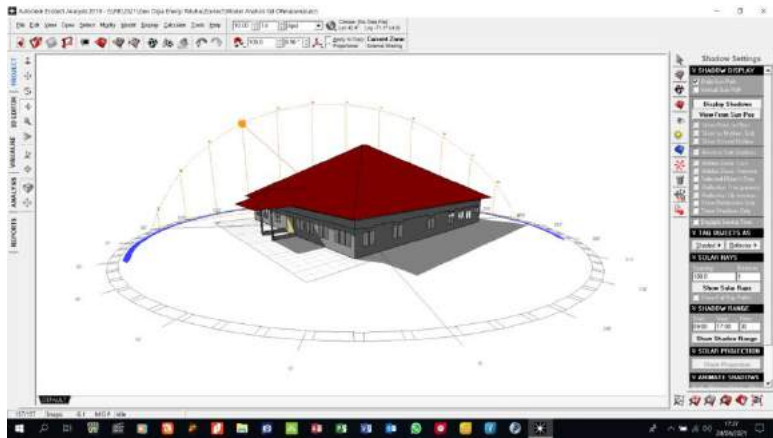
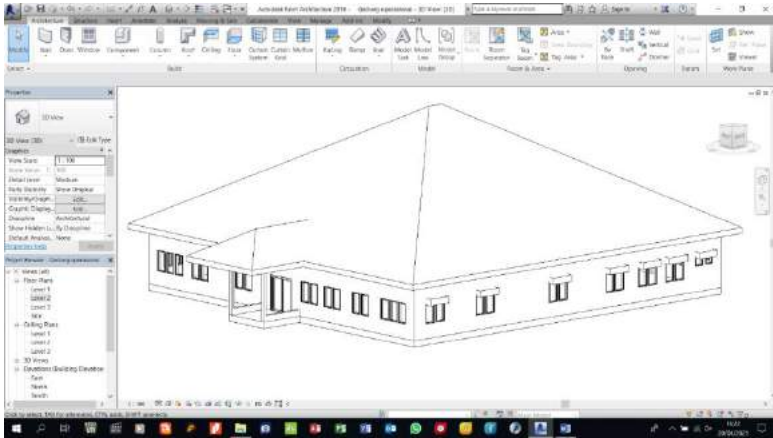
Luas Bangunan: $\pm 443 \text{ m}^2$

Material secara umum:

- Dinding bata.
- Struktur beton.
- Kaca/Jendela (*Interior curtain* berupa tirai).

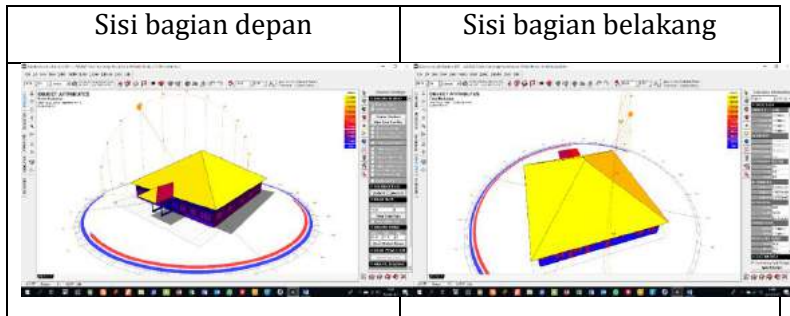
5.2.5.3. Perhitungan Nilai OTTV Eksisting

Model 3D Gedung Admin PLTP Patuha



Gambar 5.16. Gambaran pola solar exposure gedung admin PLTP Patuha

Simulasi Solar Exposure (Solar Radiation)



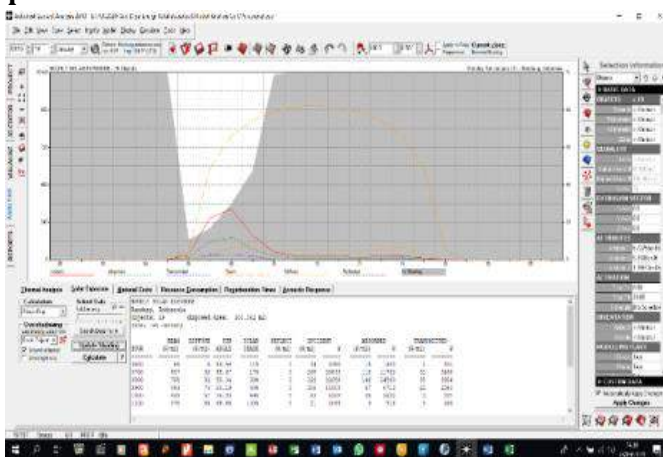
Gambar 5.17. Gambaran simulasi *solar exposure* gedung admin PLTP Patuha

Dari gambar diatas terlihat dimana area-area yang terpapar oleh radiasi matahari atau area yang mendapat infiltrasi kalor paling besar, yaitu:

- 1) Sisi atap;
- 2) Sisi bagian depan;
- 3) Sisi bagian kiri; dan
- 4) Sisi bagian belakang.

Berikut adalah hasil simulasi solar exposure analisis berdasarkan sisi gedung secara berurutan dari Depan, Belakang, Kiri dan Kanan:

Sisi Depan



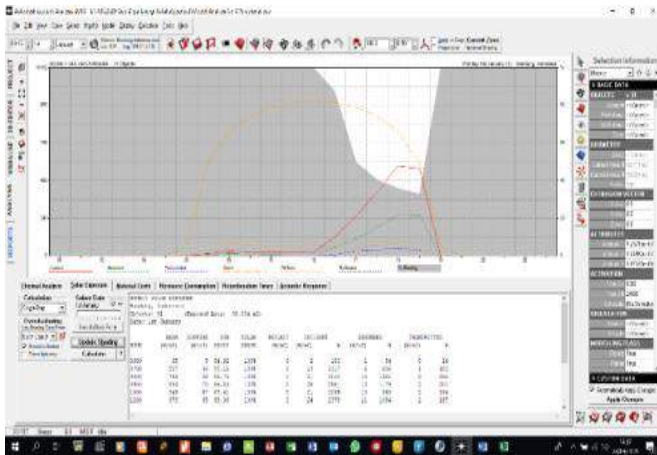
HOURLY SOLAR EXPOSURE

Bandung, Indonesia

(Exposed Area: 100.062 m2)

HOUR	BEAM	DIFFUSE	SUN	SOLAR	REFLECT	INCIDENT	ABSORBED		TRANSMITTED		
	(W/m2)	(W/m2)	ANGLE	SHADE	(W/m2)	(W/m2)	W	(W/m2)	W	(W/m2)	W
06:00	65	5	54.96	11%	0	34	3359	15	1483	4	391
07:00	587	36	55.67	17%	0	26.8	2683	118	1178	32	318
08:00	795	82	59.04	30%	0	32.6	3265	146	1456	35	350
09:00	893	70	68.19	48%	0	15.6	1560	67	671	23	234
10:00	948	57	76.28	99%	0	53	5288	25	252	2	237
11:00	978	65	85.65	100%	0	21	2067	9	916	3	266
12:00	989	67	89.7	100%	0	21	2131	9	944	3	274
13:00	978	65	88.95	100%	0	21	2067	9	916	3	266
14:00	948	57	88.32	100%	0	18	1813	8	804	2	233
15:00	893	70	87.79	100%	0	22	2226	10	987	3	286
16:00	795	82	87.05	100%	0	26	2608	12	1156	3	335
17:00	587	36	86.31	100%	0	11	1145	5	507	1	147
OTTV						25.17					

Sisi Belakang:



Evaluasi Pemanfaatan Energi PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha

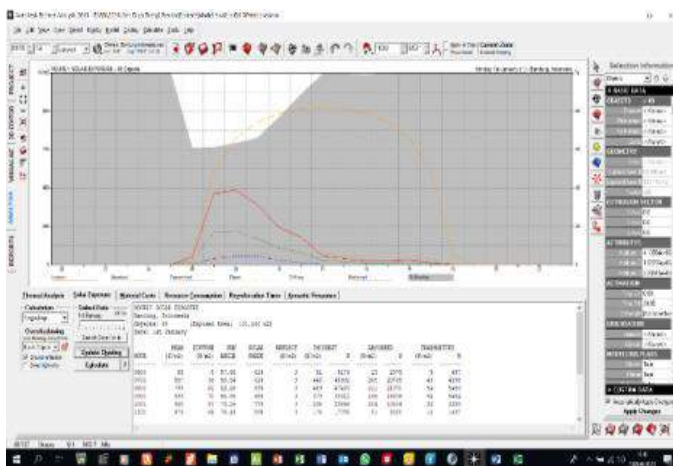
HOURLY SOLAR EXPOSURE

Bandung, Indonesia

(Exposed Area: 98.004 m²)

HOUR	BEAM (W/m ²)	DIFFUSE (W/m ²)	SUN ANGLE	SOLAR SHADE	REFLECT (W/m ²)	INCIDENT (W/m ²)	W	ABSORBED (W/m ²)	W	TRANSMITTED (W/m ²)	W
06:00	65	5	84.92	100%	0	2	183	1	84	0	14
07:00	587	36	85.16	100%	0	13	1317	6	606	1	103
08:00	795	82	85.75	100%	0	31	3000	14	1381	2	236
09:00	893	70	86.43	100%	0	26	2561	12	1179	2	201
10:00	948	57	87.41	100%	0	21	2085	10	960	2	164
11:00	978	65	88.06	100%	0	24	2378	11	1094	2	187
12:00	989	67	84.19	100%	0	25	2451	12	1128	2	193
13:00	978	65	74.83	88%	0	21	1186	56	5501	7	698
14:00	948	57	67.09	50%	0	25	2499	110	1081	34	334
15:00	893	70	59.8	41%	0	40	4006	182	1787	43	419
16:00	795	82	49.6	36%	0	57	5628	263	2573	47	458
17:00	587	36	39.29	33%	0	55	5479	259	2538	38	374
					OTTV	28.33					

Sisi Kiri:



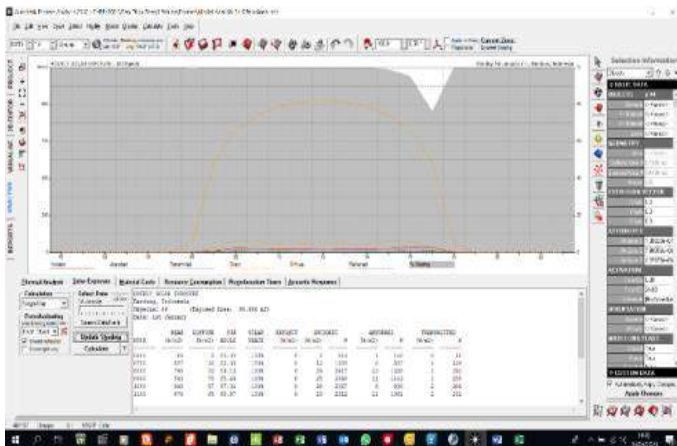
HOURLY SOLAR EXPOSURE

Bandung, Indonesia

(Exposed Area: 101.146 m2)

HOUR	BEAM	DIFFUSE	SUN	SOLAR	REFLECT	INCIDENT	ABSORBED		TRANSMITTED		
	(W/m2)	(W/m2)	ANGLE	SHADE	(W/m2)	(W/m2)	W	(W/m2)	W	(W/m2)	W
06:00	65	5	57.66	61%	0	51	5176	23	2375	5	487
07:00	587	36	58.54	61%	0	44.8	4530	205	2076	43	430
08:00	795	82	62.26	63%	0	46.9	4743	211	2137	54	546
09:00	893	70	66.65	66%	0	37.9	3831	166	1683	54	546
10:00	948	57	73.26	77%	0	23.6	2385	104	1049	32	328
11:00	978	65	78.14	89%	0	17.6	1778	81	8230	14	140
12:00	989	67	80.57	100%	0	59	6014	28	2880	3	270
13:00	978	65	82.58	100%	0	43	4383	21	2075	3	262
14:00	948	57	84.62	99%	0	26	2671	12	1239	2	230
15:00	893	70	83.5	100%	0	26	2678	12	1224	3	282
16:00	795	82	81.17	100%	0	31	3138	14	1434	3	331
17:00	587	36	78.83	100%	0	14	1377	6	630	1	145
						OTTV	35.07				

Sisi Kanan:



HOURLY SOLAR EXPOSURE

Bandung, Indonesia

(Exposed Area: 99.496 m²)

HOUR	BEAM	DIFFUSE	SUN	SOLAR	REFLECT	INCIDENT	ABSORBED		TRANSMITTED		
	(W/m ²)	(W/m ²)	ANGLE	SHADE	(W/m ²)	(W/m ²)	W	(W/m ²)	W	(W/m ²)	W
06:00	65	5	83.08	100%	0	3	312	1	148	0	18
07:00	587	36	83.35	100%	0	13	1280	6	587	1	129
08:00	795	82	84.13	100%	0	29	2917	13	1338	3	293
09:00	893	70	85.69	100%	0	25	2490	11	1142	3	250
10:00	948	57	87.34	100%	0	20	2027	9	930	2	204
11:00	978	65	88.97	100%	0	23	2312	11	1061	2	232
12:00	989	67	88.73	100%	0	24	2383	11	1093	2	239
13:00	978	65	86.83	100%	0	23	2312	11	1061	2	232
14:00	948	57	85.18	100%	0	20	2027	9	930	2	204
15:00	893	70	83.04	99%	0	26	2607	12	1199	3	251
16:00	795	82	78.47	95%	0	39	3904	18	1798	3	335
17:00	587	36	75.64	76%	0	36	3535	15	1485	5	534
OTTV						23.42					

Kalkulasi OTTV:

	Area (m ²)	OTTVi x Area (Watt)	OTTVi (W/m ²)
Depan	100.06	2,518.23	25.17
Belakang	98.00	2,776.78	28.33
Sisi Kiri	101.15	3,546.85	35.07
Sisi Kanan	99.50	2,329.86	23.42
TOTAL	398.71	11,171.72	
OTTVi :			28.02

Evaluasi Solar Exposure Gedung:

- Sisi depan, kiri, belakang merupakan sisi bagian gedung yang ter-ekspose oleh radiasi matahari (*solar exposure*). Dan sisi

bagian kiri gedung terhitung memiliki nilai OTTVi paling besar (35 W/m²) diantara sisi lainnya.

- Layout orientasi bangunan gedung admin PLTP Patuha secara layout adalah baik, hal ini terlihat dari nilai OTTV total sebesar 28.02 Watt/m².
- Dengan demikian secara umum selubung bangunan gedung Admin PLTP Patuha sudah memenuhi Standar yaitu nilai OTTV 28.02 Watt/m² lebih kecil dari nilai Standar minimum SNI 03-6389-2000 sebesar 45 Watt/m².

5.2.6. Kesimpulan dan Saran

5.2.6.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan, pengukuran, dan perhitungan terhadap beberapa aspek-aspek penting yang berkaitan dengan lingkup kegiatan audit energi pada bangunan gedung. Berikut adalah kesimpulan yang dapat dijabarkan dalam laporan ini sehingga auditee dapat melihatnya secara utuh dan menjadikannya sebagai dasar untuk rencana perbaikan (*continues improvement*).

1. Profil energi gedung admin PLTP Patuha menggunakan daya sebesar 8.32 kW dan distribusikan untuk tata cahaya sebesar 24% (2.01 kW) dan 76% daya digunakan pada colokan (*receptacle*) untuk daya komputer, dan peralatan pendukung kantor. Energi yang terukur adalah 101.13 kWh/hari (2,565.66 kWh/bulan; 30,775.88 kWh/tahun).
2. Indek efisiensi gedung admin PLTP Patuha adalah, 5.8 kWh/m²/bulan dan dengan nilai indek tersebut termasuk kedalam gedung perkantoran cukup efisien (permen ESDM no. 14 tahun 2012 untuk kriteria gedung perkantoran tanpa AC).
3. Meskipun tergolong pada gedung perkantoran yang cukup efisien penggunaan energinya namun ada beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan antara lain:

- Kualitas pencahayaan di ruangan-ruangan harus diperbaiki;
 - Monitoring sistem kelistrikan secara berkala yang salah satunya memperhatikan aspek dalam pembagian beban di phase R-S-T;
 - Pemanfaatan energi dari tenaga surya (PLTS), dapat dimanfaatkan sebagai tambahan pasokan. Berdasarkan hasil perhitungan diatas untuk memperbaiki kuat penerangan dibutuhkan penambahan daya lampu sehingga diperkirakan akan terjadi peningkatan daya dari 2.01 kW menjadi 2.85 kW, dan secara daya total gedung dari 8.32 kW menjadi 9.15 kW (peningkatan daya dari lampu); dan
 - Dengan dukungan daya dari PLTS on-grid yang terhitung memiliki potensi sebesar 11 kWp (lokasi lahan parker depan gedung), dan daya tersebut dapat digunakan sebagai kompensasi daya di sistem tata cahaya dan bahkan di sistem tata udara apabila kedepannya gedung berencana untuk menggunakan heater sebagai alat pengkondisian udara di ruangan-ruangan kerja.
 - Memasang kWh meter di panel incoming gedung untuk memudahkan pencatatan energi listrik secara periodik (harian, bulanan, tahunan).
4. Nilai OTTV gedung admin PLTP patuha adalah 28.02 Watt/m² (memenuhi standar SNI 03-6389-2000 dimana OTTV < 45 Watt/m²). Dengan demikian *layout* dan selubung bangunan gedung admin PLTP Patuha cukup baik.

5.2.6.2. Saran

Beberapa saran adalah sebagai berikut:

1. Memasang *kWh-meter* di panel *incoming* gedung admin PLTP Patuha;

2. Memperbaiki (membagi) beban di phase R ke phase S dan T agar supaya *unbalance* arus memenuhi standar kualitas kelistrikan;
3. Memperbaiki kualitas pencahayaan di ruangan-ruangan; dan
4. Implementasi PLTS *on-grid* sebagai sumber energi tambahan ke gedung admin PLTP Patuha.

5.3. Gedung Kantor Basecamp

5.3.1. Indeks Efisiensi Energi Gedung



Gambar 5.18. Gedung kantor basecamp PLTP Patuha

Secara fungsi, gedung kantor *basecamp* termasuk pada kategori atau kriteria gedung perkantoran. Dengan demikian *benchmarking*

nilai Indeks Efisiensi Energi gedung akan dibandingkan (*benchmarking*) dengan kategori gedung perkantoran.

Berdasarkan hasil pengukuran sumber energi listrik pada panel *incoming* gedung kantor basecamp dengan menggunakan *power quality analyzer portable*. Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh besaran-besaran sebagai berikut: 1). Daya nyata 6.08 kW; 2). Daya reaktif 1.52 kVAR; 3). Daya semu 6.23 kVA; dan 4). Energi listrik harian 75.39 kWh.

Berdasarkan energi listrik harian tersebut dan besaran energi listrik pada hari Sabtu dan Minggu yang sebesar 40% dari konsumsi listrik harian. Maka konsumsi energi listrik bulanan dan tahunan di kantor *basecamp* adalah sebesar: 1). Konsumsi listrik bulanan sebesar 1,930.03 kWh/bulan; dan 2). Konsumsi listrik tahunan sebesar 23,160.42 kWh/tahun.

Tabel 5.12 adalah data mengenai luas ruangan yang terdapat pada kantor *basecamp*.

Tabel 5.12. Data luas ruangan, masing-masing ruangan di gedung *basecamp*

No	Ruangan	Panjang [m]	Lebar [m]	Luas [m ²]
1	Kantin	7.8	7	54.6
2	Lobby	5	4.2	21
3	R.Humant Cavital (HC)	7.7	2.7	20.79
4	R.Laboratorium	5.6	3.3	18.48
5	R.Geochemical	3.2	2.8	8.96
6	R.Server	3.3	2.9	9.57
7	R.Manager HC	3.4	2.9	9.86
8	R.Finance	5.3	2.9	15.37
9	R.Meeting	7	5.4	37.8
10	R.HC,GR & PR	11.8	4.3	50.74
11	Scurity	5.7	4.2	23.94
			Total	271.11

Berdasarkan data-data tersebut diatas, maka nilai Indeks Energi Efisiensi gedung adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Indeks} &= 1,930.03 \text{ (kWhperbulan)}/271.11 \text{ (m}^2\text{)} \\ &= 7.11 \text{ kWh/m}^2\text{perbulan} \end{aligned}$$

dan;

$$\begin{aligned} \text{Indeks} &= 23,160.42 \text{ (kWhpertahun)}/271.11 \text{ (m}^2\text{)} \\ &= 85.42 \text{ kWh/m}^2\text{pertahun} \end{aligned}$$

Rujukan atau referensi nilai indek energi efisiensi yang akan diterapkan disini adalah PERMEN ESDM no. 13 tahun 2012. Berikut adalah saduran (kutipan) dari PERMEN ESDM no. 13 tahun 2012.

1). Gedung perkantoran ber AC:

Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m ² /bulan)
Sangat efisien	Lebih kecil dari 8.5
Efisien	8.5 sampai dengan lebih kecil dari 14
Cukup efisien	14 sampai dengan lebih kecil dari 18.5
Boros	Lebih besar sama dengan 18.5

2). Gedung perkantoran tanpa AC:

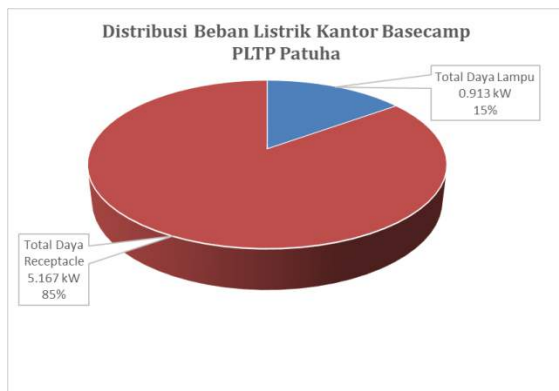
Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m ² /bulan)
Sangat efisien	Lebih kecil dari 3.4
Efisien	3.4 sampai dengan lebih kecil dari 5.6
Cukup efisien	5.6 sampai dengan lebih kecil dari 7.4
Boros	Lebih besar sama dengan 7.4

Berdasarkan data dan informasi aktual dimana kondisi dari gedung admin adalah gedung perkantoran tanpa AC, dengan demikian kategori penilaian indek efisiensi energi akan merujuk pada kriteria gedung tanpa AC.

$$\begin{aligned} \text{Indeks} &= 1,930.03 \text{ (kWhperbulan)}/271.11 \text{ (m}^2\text{)} \\ &= 7.11 \text{ kWh/m}^2\text{perbulan} \end{aligned}$$

Nilai ideks tersebut masuk pada kategori cukup efisien, yaitu berada pada range nilai 5.6 sampai dengan lebih kecil dari 7.4.

Distribusi energi listrik di gedung basecamp ditampilkan pada grafik gambar 5.19:



Gambar 5.19. Distribusi energi listrik di gedung *basecamp*

5.3.2. Kualitas Sistem Suplai dan Distribusi Kelistrikan

5.3.2.1 Data dan Fakta Sistem Kelistrikan

Gambar 5.20 memperlihatkan kegiatan pengukuran sistem kelistrikan di gedung *basecamp* PLTP Patuha:



Gambar 5.20. Pengukuran kelistrikan di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha

5.3.2.2 Hasil Pengukuran di Sistem Kelistrikan

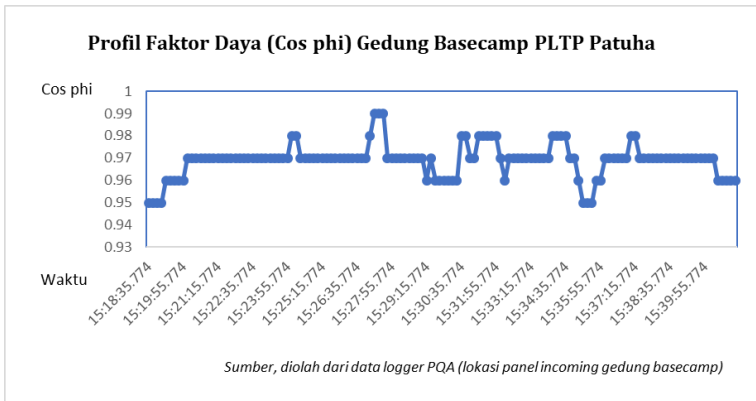
Berikut adalah hasil pengolahan data pengukuran di sistem kelistrikan gedung admin.

a) Profil beban (daya)

Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh besaran-besaran sebagai berikut:

- ✓ Daya nyata 6.08 kW;
- ✓ Daya reaktif 1.52 kVAR;
- ✓ Daya semu 6.23 kVA; dan
- ✓ Energi listrik harian 75.39 kWh.

b) Profil faktor daya (cos phi), diperlihatkan pada gambar 5.21

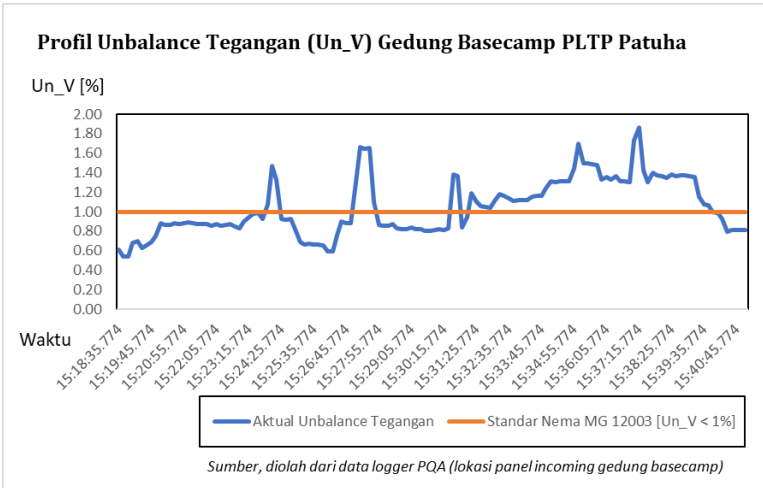


Gambar 5.21. Profil faktor daya (cos phi) yang terukur di panel incoming gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha

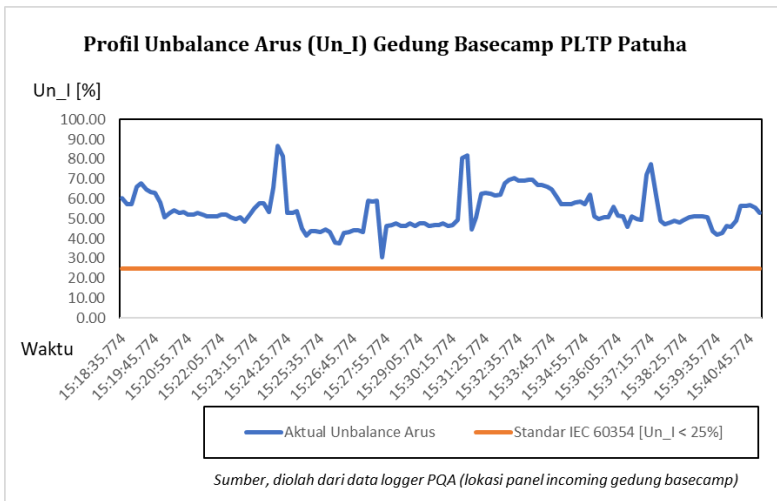
Berdasarkan grafik profil diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

Faktor daya (cos phi) masih memenuhi standar dimana rentang cos phi terukur adalah 0.9 atau masih diatas 0.85.

c) *Unbalance* tegangan dan arus diperlihatkan pada gambar 5.22 dan gambar 5.23.



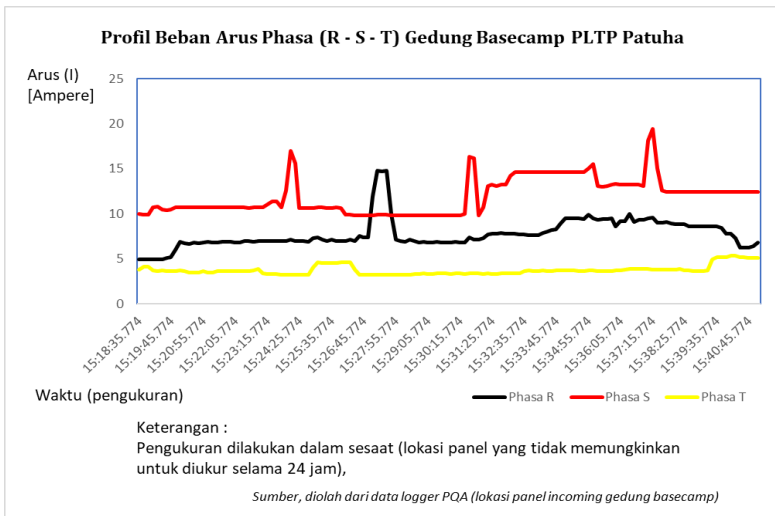
Gambar 5.22. Profil *unbalance* tegangan yang terukur di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha



Gambar 5.23. Profil *unbalance* arus yang terukur di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha

Berdasarkan grafik profil diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- *Unbalance* tegangan masih memenuhi standar, dimana nilai *unbalance* tegangan terukur masih dibawah 1%;
- *Unbalance* arus tidak memenuhi standar dimana nilainya telah melebihi nilai standar yang disyaratkan ($Un_I < 25\%$).
- Penyebabnya adalah sistem distribusi beban tidak terbagi secara merata, hal ini terlihat pada gambar dibawah dimana beban fase S lebih besar (atau terlalu banyak beban-beban yang mengambil sumber listrik dari fase S).
- Solusinya adalah harus di bagi beberapa beban dari fase S, dibagikan ke fase T.



Gambar 5.24. Profil beban arus (R-S-T) yang terukur di panel incoming *gedung* kantor basecamp PLTP Patuha

5.3.3. Kualitas (Kenyamanan) Visual dan Thermal Ruangan

5.3.3.1. Kenyamanan Visual (Tata Cahaya)

5.3.3.1.1. Sistem Tata Cahaya



Gambar 5.25. Sistem tata cahaya di ruangan-ruangan gedung kantor basecamp PLTP Patuha.

5.3.3.1.2. Hasil Pengukuran di Sistem Tata Cahaya

Berikut adalah hasil pengolahan data pengukuran di sistem tata cahaya pada ruangan-ruangan di gedung kantor basecamp PLTP Patuha.

Tabel 5.13. Hasil pengukuran kuat penerangan di ruangan-ruangan gedung kantor basecamp PLTP Patuha

No	Nama Ruangan	Survey Tata Cahaya										
		Lampu			Penyalan		Kuat Penerangan					Keterangan
		Jenis	Watt	Pcs	Ya	Tdk	LUX					
					Pcs	Pcs	1	2	3	Standar		
Kantor HC												
1	Kantin	TL	20	4	4	-	81	85	74	200	Tdk. Memenuhi	
2	Lobby	TL	20	4	4	-	98	97	128	100	Memenuhi	
3	R.Human Capital	TL	20	6	6	-	76	78	80	350	Tdk. Memenuhi	

4	R.Laboratorium	TL	20	6	6	-	39	92	58	500	Tdk. Memenuhi
5	R.Geochemical	TL	20	2	2	-	84	156	91	350	Tdk. Memenuhi
6	R.Server	TL	20	1	1	-	80	76	77	350	Tdk. Memenuhi
7	R.Manager HC	TL	20	2	2	-	81	76	85	350	Tdk. Memenuhi
8	R.Finance	TL	20	2	2	-	32	58	56	350	Tdk. Memenuhi
9	R.Meeting	TL	20	6	6	-	85	56	38	350	Tdk. Memenuhi
10	R.HC,GA & PR	TL	20	8	8	-	102	66	68	350	Tdk. Memenuhi

Tabel 5.14. Hasil pengukuran spesifik daya lampu di ruangan-ruangan gedung kantor basecamp PLTP Patuha

No	Nama Ruangan	Survey Tata Cahaya								
		P	L	A	Daya lampu	Jumlah lampu	Total Daya	Specific daya lampu [Watt/m ²]		
		[m]	[m]	[m ²]	Watt	Pcs	Watt	Aktual	Standar	Keterangan
Kantor HC										
1	Kantin	7.8	7	54.6	20	4	80	1.47	10	Memenuhi
2	Lobby	5	4.2	21	20	4	80	3.81	10	Memenuhi
3	R.Human Capital (HC)	7.7	2.7	20.79	20	6	120	5.77	15	Memenuhi
4	R.Laboratorium	5.6	3.3	18.48	20	6	120	6.49	20	Memenuhi
5	R.Geochemical	3.2	2.8	8.96	20	2	40	4.46	15	Memenuhi
6	R.Server	3.3	2.9	9.57	20	1	20	2.09	15	Memenuhi
7	R.Manager HC	3.4	2.9	9.86	20	2	40	4.06	15	Memenuhi
8	R.Finance	5.3	2.9	15.37	20	2	40	2.60	15	Memenuhi
9	R.Meeting	7	5.4	37.8	20	6	120	3.17	15	Memenuhi
10	R.HC,GA & PR	11.8	4.3	50.74	20	8	160	3.15	15	Memenuhi

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa meskipun secara nilai spesifik daya penerangan masuk kategori Hemat Energi (lihat Tabel 5.13), namun nilai kuat penerangan banyak yang tidak memenuhi (lihat Tabel 5.12). Hal ini disebabkan oleh:

- Tata letak (*layout*) lampu tidak sesuai dengan *layout* meja kerja;
- Kapasitas lampu (daya dan lumen) yang digunakan kurang dari kebutuhan luasan bidang kerja; dan
- Pengaruh dari lampu yang sudah *derating* (kinerjanya menurun) sebaiknya diganti.

5.3.3.1.3. Temuan di Sistem Tata Cahaya

Dari hasil pengamatan pada saat survei Audit Energi dan juga hasil dari pengukuran kuat penerangan/kenyamanan visual di ruangan-ruangan di gedung basecamp PLTP Patuha. Berikut adalah beberapa findings atau temuan pada sistem tata cahaya:



- Layout lampu tidak sesuai atau pas dengan layout meja.
- Sebaiknya arah letak lampu memanjang mengikuti arah meja. Atau sebaliknya arah meja yang mengikuti arah memanjangnya lampu.



- Daya lampu kurang dari yang dibutuhkan sehingga lumen yang dihasilkan tidak memenuhi standar kuat penerangan.
- Eksisting adalah TL 20 Watt, seharusnya adalah TL 36 atau kombinasi TL 40 Watt dan TL 36 Watt, hal ini dikarenakan standar untuk Lab adalah > 500 Lux.

5.3.3.1.4. Analisis dan Evaluasi di Sistem Tata Cahaya

Studi kasus: Ruang Kerja HC, GA, dan PR.

Dari beberapa *findings* atau temuan di sistem tata cahaya (visual) yang telah di uraikan diatas. Secara umum permasalahannya adalah:

Findings sistem tata cahaya:

- Layout lampu tidak sesuai dengan layout ruang kerja; dan
- Daya lampu kurang dari kapasitas tata cahaya yang dibutuhkan di ruang kerja.

Berikut akan dibuat suatu simulasi ruangan yang memenuhi aspek kualitas visual untuk ruangan kerja, dan yang menjadi studi kasus adalah ruangan HC, GA, dan PR. Sehingga dari studi kasus yang di rancang ini dapat direplikasi untuk ruangan-ruangan lainnya kedepannya.

a). Ruang Kerja HC, GA, dan PR



Deskripsi ruangan:

- Luas : 11.8×4.3 m
- Tinggi dari lantai ke *ceiling* : 2.9 m
- Tinggi dari bidang meja ke *ceiling* 2.2 m
- Jenis Lampu: TL 2x20 watt (per armatur)
- Hasil Pengukuran:
 - Nilai Lux : 102, 66, 68 < 350 LUX (tidak memenuhi standar)
 - Spesific daya penerangan: 3.15 Watt/m² < 15 Watt/m² (Memenuhi standar)

b). Analisis dan Evaluasi

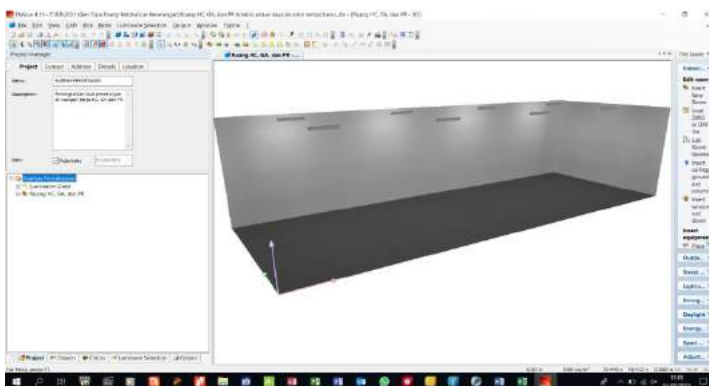
Analisis akan dikondisikan dalam 2 (dua) simulasi:

Simulasi 1: Identifikasi daya lampu yang saat ini terpasang (kondisi lampu baru dengan daya lampu sama dengan daya yang saat ini terpasang).

Simulasi 2: Identifikasi dengan jumlah lampu dan daya yang dibutuhkan hingga terpenuhinya standar kuat penerangan.

Simulasi 1:

Identifikasi daya lampu yang saat ini terpasang (kondisi lampu baru dengan daya lampu sama dengan daya yang saat ini terpasang).



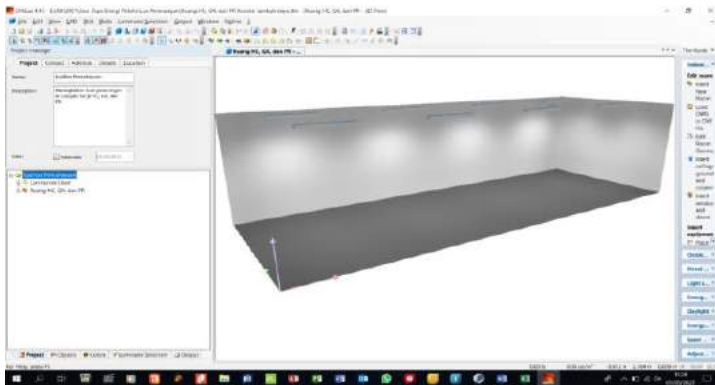
Evaluasi:

Dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa dengan kondisi *layout* lampu saat ini dan menggunakan daya lampu TL 18 watt (baru), sebaran kuat penerangan masih kurang dari kebutuhan nilai LUX yang distandarkan SNI.

Sebaran kuat penerangan : 180; 210; 240

Simulasi 2:

Identifikasi lampu dengan jumlah lampu dan daya yang dibutuhkan hingga terpenuhinya standar kuat penerangan.



Dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa dengan kondisi lampu ditambahkan dayanya menjadi TL5 2x28 Watt ternyata kuat penerangan tercapai atau memenuhi standar SNI.

Sebaran kuat penerangan: 300; 360; 420

Kesimpulannya adalah:

- Daya lampu yang terpasang saat ini terbukti kurang dari seharusnya (lihat simulasi 1 diatas), seharusnya TL 2x28 Watt bukan TL 2x20 Watt;
- Spesifik daya lampu adalah: 9.62 W/m² (masih memenuhi standar, yaitu < 15 W/m²);
- Kekurangannya adalah terjadi kenaikan daya lampu sebesar 42% dari saat ini, yaitu dari 304 Watt menjadi 488 Watt:
 - Sebelumnya 8 pcs lampu jenis TL 2x18 Watt, total daya adalah 304 Watt (standar kuat penerangan tidak terpenuhi)
 - Rekomendasi 8 pcs lampu jenis 2xTL5 28 Watt, total daya adalah 488 Watt (standar kuat penerangan dan spesifik daya lampu terpenuhi)

Berdasarkan hasil evaluasi diatas. Untuk meningkatkan besaran kuat penerangan di sistem tata cahaya gedung *basecamp* PLTP Patuha, sudah seharusnya menambah daya (kapasitas) lampu, dan daya lampu yang dibutuhkan sekitar 60.5% (dengan menggunakan jenis lampu 2xTL5 28 Watt) berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan diatas.

Dengan demikian potensi penambahan daya (sebagai konsekuensi penambahan daya lampu) adalah sebagai berikut:

Eksisting:	Potensi penambahan daya dari lampu
Total daya lampu 0.91 kW	Total daya lampu 1.46 kW
Total daya receptacle 5.16 kW	Total daya receptacle 5.16 kW
Total daya gedung basecamp: 6.08 kW	Total daya gedung basecamp: 6.63 kW

5.3.3.2. Kenyamanan *Thermal* (Tata Udara)

5.3.3.2.1. Data dan Fakta Sistem Tata Udara

Gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha terletak diketinggian ± 2000 mdpl, kelembapan yang terukur di outdoor gedung 86%RH dan temperatur 17 °C. Berdasarkan gambaran kondisi thermal tersebut maka gedung *basecamp* tidak menggunakan peralatan/unit-unit AC sebagai alat untuk pengkondisian udara di ruangan-ruangan kerja.

Bagian berikut adalah gambaran hasil pengukuran besaran kelembapan relatif dan temperatur pada ruangan-ruangan kerja di gedung *basecamp*.

5.3.3.2.2. Hasil Pengukuran di Sistem Tata Cahaya

Berikut adalah data hasil pengukuran thermal ruangan di gedung *basecamp* PLTP Patuha.

No	Nama Ruangan	Survey Kenyamanan Thermal Ruangan					
		Kelembaban (%RH) Ruangan			Temp. Ruangan (°C)		
		Aktual	Acuan	Keterangan	Aktual	Acuan	Keterangan
Kantor HC							
1	Kantin	82	40 - 60	Gedung kantor baecamp bawah, tidak mengguna kan sistem pengkondisian udara. Dan ber dasarkan data hasil pengukuran pada area luar gedung, terukur temperatur 16 celcius dan kelembaban (%RH) 87%. Sehingga sulit untuk memenuhi rujukan tersebut	19	23 - 26	Gedung kantor basecamp bawah, tidak menggunakan sistem pengkondisian udara. Dan berdasarkan data hasil pengukuran pada area luar gedung, terukur temperatur 16 °C dan kelembaban 87%. Sehingga sulit untuk memenuhi rujukan tersebut
2	Lobby	80	30 - 70		19	23 - 26	
3	R.Human Capital	86	40 - 60		20	23 - 26	
4	R.Laboratorium	80	40 - 60		20	23 - 26	
5	R.Geochemical	83	40 - 60		20	23 - 26	
6	R.Server	83	40 - 60		21	18	
7	R.Manager HC	83	40 - 60		20	23 - 26	
8	R.Finance	85	40 - 60		20	23 - 26	
9	R.Meeting	83	40 - 60		20	23 - 26	
10	R.HC,GA & PR	70	40 - 60		21	23 - 26	

5.3.4. Kesimpulan dan Saran

5.3.4.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan, pengukuran, dan perhitungan terhadap beberapa aspek-aspek penting yang berkaitan dengan lingkup kegiatan audit energi pada bangunan gedung. Berikut adalah kesimpulan yang dapat dijabarkan dalam laporan ini sehingga *auditee* dapat melihatnya secara utuh dan menjadikannya sebagai dasar untuk rencana perbaikan (*continues improvement*).

1. Profil energi gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha menggunakan daya sebesar 6.08 kW dan distribusikan untuk tata cahaya sebesar 15% (0.913 kW) dan 85% (5.16 kW) daya digunakan pada colokan (*receptacle*) untuk daya komputer, dan peralatan pendukung kantor. Energi yang terukur adalah 75.39 kWh/hari (1,930.03 kWh/bulan; 23,160.42 kWh/tahun).
2. Indek efisiensi gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha adalah, 7.11 kWh/m²/bulan dan dengan nilai indek tersebut termasuk kedalam gedung perkantoran cukup efisien (permen ESDM no. 14 tahun 2012 untuk kriteria gedung perkantoran tanpa AC).
3. Meskipun tergolong pada gedung perkantoran yang cukup efisien penggunaan energinya namun ada beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan antara lain:
 - Kualitas pencahayaan di ruangan-ruangan harus diperbaiki;
 - *Monitoring* sistem kelistrikan secara berkala yang salah satunya memperhatikan aspek dalam pembagian beban di phase R-S-T;
 - Memasang kWh meter di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* untuk memudahkan pencatatan energi listrik secara periodik (harian, bulanan, tahunan).

5.3.4.2. Saran

Beberapa saran adalah sebagai berikut:

1. Memasang *kWh-meter* di panel *incoming* gedung kantor basecamp PLTP Patuha;
2. Memperbaiki (membagi) beban di phase S ke phase T agar supaya *unbalance* arus memenuhi standar kualitas kelistrikan;
3. Memperbaiki kualitas pencahayaan di ruangan-ruangan.

BAB 6

POTENSI PENGHEMATAN

6.1 Potensi Penghematan Energi di Fasilitas Utama

Berdasarkan profil penggunaan energi (*own used*) di PLTP Patuha Unit-1, maka kategori Prioritas SEU dan potensi penghematan energi dapat dikelompokkan kedalam beberapa kategori seperti yang disajikan pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Kategori pengguna energi signifikan di PLTP Patuha Unit 1

No.	Pengguna Energi Utama (Kategori SEU)	Konsumsi Energi (kWh/bln)	% Kons. Energi di PLTP	SEU Prioritas	Tingkat Kompleksitas	Tingkat Investasi	Potensi saving
1	CT Fan	524,160	26.2%	Prior 1	High	High	High
2	HWP	729,360	36.5%	Prior 1	Medium	High	High
3	LRVP	338,400	16.9%	Prior 1	Medium	High	Low
4	ACWP	106,685	5.3%	Prior 1	Medium	Medium	Medium
5	Re-Injeksi Pump	29,085	1.5%	Prior 2	Low	Low	Medium
6	Air Compressor	25,992	1.3%	Prior 2	Low	Low	Low
7	Raw Water Intake & Booster Pump Cipaku	15,840	0.8%	Prior 2	Low	Low	Low
8	Pemasangan Mikrohidro di Cipaku (untuk lingting dan PJU)	720	0.04%	Prior 3	Low	Medium	Low
	Akumulatif		88.6%				

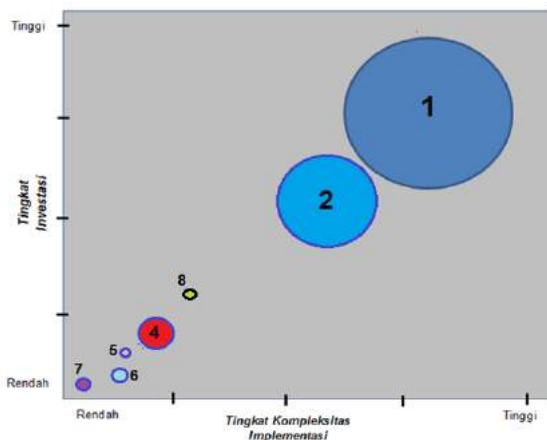
Asumsi hitungan : 1 hari 24 jam, 1 bulan 30 hari

Total Own Used /bln = 1,998,007

Secara grafis peluang dan resiko (tantangan) implmentasi penghematan energi pada masing-masing prioritas dapat dilihat pada gambar 6.1.

Sesuai dengan hasil evaluasi unjuk kerja sistem dan peralatan pengguna energi pada bab 4, maka akan dibahas beberapa potensi

penghematan energi yang bisa dilakukan pada fasilitas energi utama di PLTP Patuha Unit 1.



Gambar 6.1 Grafik Peluang dan Resiko penghematan energi di masing-masing prioritas

Berdasarkan hasil audit energi, maka terdapat beberapa peluang penghematan di pengguna energi utama di PLTP Patuha Unit-1, seperti yang disajikan pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Daftar Peluang penghematan energi di fasilitas pengguna energy utama PLTP Patuha

No.	Uraian Potensi Penghematan Energi di PLTP Patuha Unit 1	Prioritas Implementasi
1.	Pemasangan VSD pada Fan CT (pada 2 unit motor fan)	1
2.	Pemasangan VSD pada <i>Hot Well Pump</i> (HWP)	1
5.	Pemasangan VSD pada Pompa Re-injeksi Kondensat	2
6.	Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor	2
7.	Penggantian Motor Unit pada Pompa <i>Raw Water Intake</i> di Cipaku	2
8.	Pemasangan Mikrohidro di Sungai Cipaku untuk penerangan (lampu/lighting dan PJU)	2

Penjelasan masing-masing potensi penghematan berdasarkan tabel prioritas diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

6.1.1 Pemasangan VSD pada Fan CT

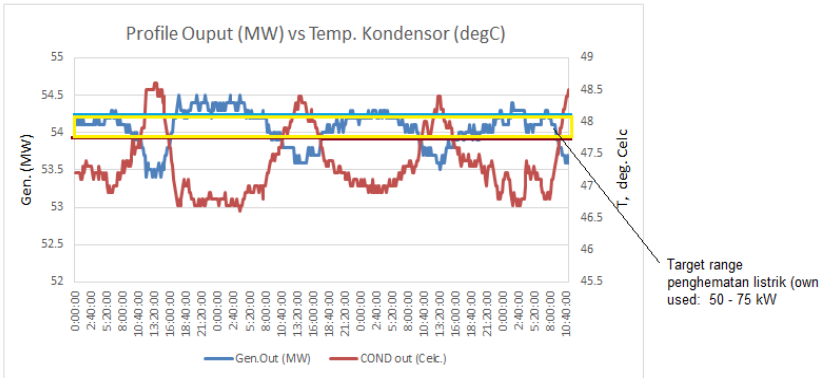
Proses pendinginan *cooling water* di *Cooling Tower* sangat dipengaruhi kondisi lingkungan sekitar (yaitu temperatur *wet bulb*, udara *ambient*). Sesuai dengan evaluasi kinerja *cooling tower* pada bab 4, maka terlihat bahwa performa CT pada siang hari lebih baik dibandingkan pada malam hari dengan *gap* daya listrik yang harus di-*supply* antara siang dan malam hari sebesar 18.5% atau sekitar 147 kW. Tentu angka ini merupakan potensi penghematan yang bisa diambil pada malam hari. Akan tetapi dengan melakukan penurunan putaran motor sehingga menyebabkan *supply* udara pendingin di CT akan sedikit berkurang, maka berpengaruh juga terhadap kenaikan sedikit temperatur suplai *cooling water* ke kondensor. Kenaikan temperatur kondensor akan berpengaruh pada kevakuman yang berakibat produksi listrik pada turbin sedikit berkurang. Tentu hal ini menjadi kompensasi yang akan menentukan titik terbaik berapa % penurunan kecepatan putaran (Hz) dari motor *fan* sehingga angka penurunan daya motor lebih besar dibandingkan penurunan produksi listrik pada generator (hal ini tentu dilakukan saat tuning dan *commissioning* pemasangan VSD).

Yang menjadi pokok masalah, berapa kW potensi saving daya *net* dari listrik atau *own used* yang bisa diperoleh dengan pemasangan VSD?.

Berdasarkan data produksi listrik di generator selama survey dan kondisi temperatur pada kondensor, maka dapat digambarkan sebagai berikut (gambar 6.2):

Dengan melakukan pemasangan VSD pada 2 unit fan CT, diharapkan konsumsi listrik akan berkurang sebesar 147 kWh/h akan tetapi produksi listrik generator juga sedikit menurun karena naiknya sedikit temperatur kondensor, dengan penurunan sebesar

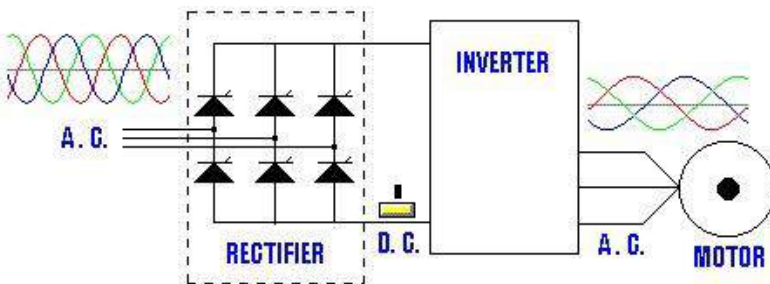
80 – 100 kWh/h (0.08 – 0.1 MW) *output* generator sehingga masih ada selisih penghematan *own used* pada motor *fan* CT sebesar 50 – 70 kWh/h.



Gambar 6.2 Profil *output* generator (*gross*) vs Temperatur *oulet* Kondensor

Sesuai penjelasa diatas, maka opsi yang paling efektif yaitu dengan menurunkan putaran *fan* CT saat kondisi malam hari dengan demikian juga menurunkan *load* motor *fan* CT. Pemasangan VSD menjadi pilihan yang tepat karena VSD dapat secara *flexible* diaplikasi untuk mengubah putaran motor dengan dilakukan *interlock* terhadap kondisi operasi (temperatur dan *flow rate* CT).

Prinsip kerja VSD pada pengaruh putaran motor dapat dilihat pada gambar 6.3.:



Gambar 6.3 Prinsip kerja VSD pada motor listrik bolak-balik (AC)

Arus AC akan diubah menjadi arus DC di unit *Rectifier* pada VSD dan kemudian arus DC akan diubah frekuensinya sesuai target *setting*, lalu arus DC diubah pada unit *inverter* menjadi arus AC kembali yang dikonsumsi oleh motor sebagai energi listrik penggerak motor.

Konsultan menyarankan agar tidak semua motor fan CT dipasang VSD, hanya diperlukan 2 dari 5 unit yang ada saat ini saja. Berikut hitungan simulasi penghematan energi dan biaya serta investasi pemasangan VSD pada 2 unit motor *fan* CT di PLTP Patuha Unit 1:

- **Pemasangan 1 unit VSD (kap. 355 kW) untuk 2 unit motor Fan CT.**
 - Potensi *saving* daya: 60 kW (ambil tengah antara 50 – 70 kW)
 - *Running hour*: 12 jam (malam hari)
 - Potensi *saving* energi listrik perbulan (30 hari): $60 \times 12 \times 30 = 21.600 \text{ kWh}$
 - Asumsi tarif listrik PLN untuk industri (rerata): Rp 1.114,74/kWh
 - Asumsi *saving* pemakaian listrik perbulan: $38.736 \times \text{Rp } 1.114.74 = \text{Rp } 24,078,384$
 - Biaya investasi untuk VSD, 6.6 kV, kap 355 kW (kapasitas terkecil produk): Rp 1.170.000.000,-
 - Lama pengembalian investasi: $\text{Rp } 1.170.000.000 / \text{Rp } 24,078,384 = 48 \text{ bulan (4 tahun)}$, dengan asumsi tidak kenaikan TDL selama 4 tahun kedepan. Jika ada kenaikan TDL, maka *payback period* akan lebih cepat.

Efek dari pemasangan VSD

VSD seringkali menimbulkan efek harmonik pada jaringan listrik. Sesuai hasil pengukuran THD pada jaringan listrik di *fan* CT, maka berikut rekap tentang kondisi THDi dan TDHv sesuai laporan di Bab 4 (bagian kelistrikan) pada *feeder (incoming)* tegangan 6 kV (MV) dan pada motor *fan* CT di PLTP Patuha:

Kondisi THDi pada *feeder* MV (6kV)

THD Current [%]						
THDF I-R	1,81	1,40	1,68	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-S	1,74	1,48	1,59	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi
THDF I-T	1,71	1,50	1,60	≤ 5%	IEEE - 519-2014 atau IEC 61000-2005 [10,11]	Nilai Rata-Rata Memenuhi

Kondisi THDi dan THDv pada motor Fan CT

THD (%)	Aktual (Pengukuran)			Standar IEEE 519-2014	
	R	S	T	Nilai (%)	Keterangan
THD V	1.02	1.06	1.03	5	Memenuhi (Aman)
THD I	1.99	1.93	1.91	5	Memenuhi (Aman)

Kondisi harmonik (THD) masih sangat bagus, jauh dari persyaratan (batasan dari standar IEEE). Dengan memasang VSD pada 2 motor dari 5 motor fan CT yang ada, maka kemungkinan THD akan sedikit naik. Akan tetapi dengan seting %putaran (Hz) yang tidak terlalu jauh karena potensi penurunan putaran pada *fan* CT sesuai evaluasi di bab 4, maksimal adalah 18% maka potensi kenaikan THD pada *fan* CT juga tidak terlalu besar yang dapat mengganggu jaringan listrik pada tegangan 6000 Volt.

Konsultan menyarankan sebelum implementasi pemasangan VSD dilakukan *assessment* detail untuk kelistrikan, bukan hanya aspek THD, termasuk juga aspek lain (*grounding system, unbalance, flicker dan inrush current* yang ada pada kelistrikan).

Untuk tahapan selanjutnya, potensi penghematan ini karena masuk area yang kompleks dengan dampak perubahan variabel operasi yang tinggi dengan tingkat investasi yang juga kategori *high cost*, maka konsultan menyarankan agar dilakukan kegiatan *Feasible Study* dan *Detail Engineering Design* (FS-DED) sebelum dilakukan implementasi.

6.1.2 Pemasangan VSD pada Hot Well Pump (HWP)

Seperti dijelaskan sebelumnya pada evaluasi HWP di bab 4, bahwa untuk mengimbangi *load* pemompaan yang saat ini masih lebih rendah dibandingkan *load* daya listriknya, maka opsi yang tepat yaitu dengan memasang *variable speed* motor (VSD). Berikut hitungan potensi penghematan biaya dan biaya investasi pemasangan VSD:

- Potensi *saving* daya: 60 kW
- Running hour: 24 jam
- Potensi *saving* energi listrik perbulan (30 hari): $60 \times 24 \times 30 = 43.200 \text{ kWh}$
- Asumsi tarif listrik PLN untuk industri (rerata):
Rp 1.114,74/kWh
- Asumsi *saving* pemakaian listrik perbulan:
 $43.200 \times \text{Rp } 1.114.74 = \text{Rp } 48.156.768$
- Pemakaian daya *real* oleh *motor pump*: 507 kW
- Biaya investasi untuk VSD, 6.6 kV, kap 550 kW =
Rp 1.440.000.000,-
- Lama pengembalian investasi: $\text{Rp } 1.440.000.000 / \text{Rp } 48.156.768 = 30 \text{ bulan (2.5 tahun)}$

Sama dengan pemasangan VSD di motor CT *Fan*, maka untuk tahapan selanjutnya, potensi penghematan ini karena masuk area yang kompleks dengan dampak perubahan variabel operasi yang tinggi dengan tingkat investasi yang juga kategori *high cost*, maka konsultan menyarankan agar dilakukan kegiatan *Feasible Study* dan *Detail Engineering Design* (FS-DED) sebelum dilakukan implementasi.

Konsultan juga menyarankan agar dilakukan *assessment* detail untuk kelistrikan, bukan hanya aspek THD, termasuk juga aspek lain (*grounding system, unbalance, flicker dan inrush current* yang ada pada kelistrikan) pada motor HWP ini.

6.1.3 Pemasangan VSD pada Motor Re-injeksi Pump

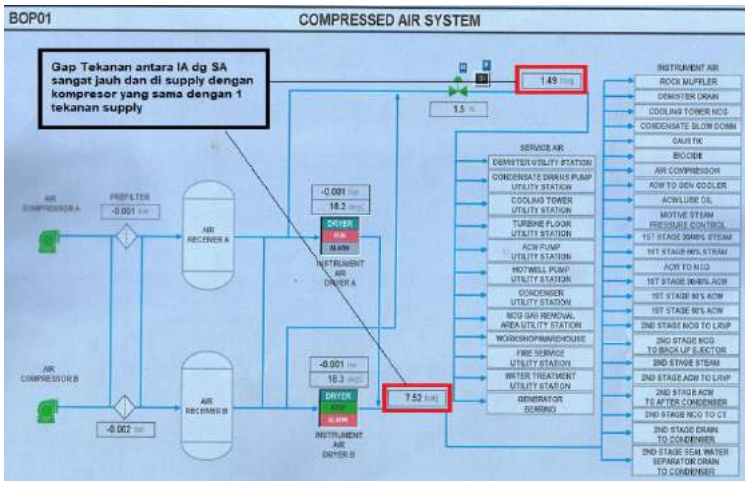
Seperti dijelaskan sebelumnya pada motor Pompa Reinjeksi di bab-4, bahwa untuk mengimbangi *load* pemompaan yang saat ini masih lebih rendah dibandingkan *load* daya elektriknya, maka opsi yang tepat yaitu dengan memasang *variable speed* motor (VSD). Berikut hitungan potensi penghematan biaya dan biaya investasi pemasangan VSD:

- Potensi *saving* daya: 15.5 kW
- *Running hour*: 24 jam
- Potensi *saving* energi listrik perbulan (30 hari): $15.5 \times 24 \times 30 = 11.160$ kWh
- Asumsi tarif listrik PLN untuk industri (rerata):
Rp 1.114,74/kWh
- Asumsi *saving* pemakaian listrik perbulan:
 $11.160 \times \text{Rp } 1.114.74 = \text{Rp } 12.440.498$
- Pemakaian daya *real* oleh motor *pump*: 40.4 kW
- Biaya investasi untuk VSD, 380-400 V, kap 75 kW:
Rp 212.400.000,-
- Lama pengembalian investasi: $\text{Rp } 212.400.000 / \text{Rp } 12.440.498 = 17$ bulan (1.4 tahun)

6.1.4 Pemasangan Air Kompresor untuk Service Air (SAC)

Saat dilakukan survey pada kompresor udara, ada 2 sistem demand *air compressed*: *Instrument air* (IA) dan *Service Air* (SA). Tekanan antara IA dan SA sangat jauh. IA memiliki tekanan 7.52 barG dan SA memiliki tekana 1,49 barG. Akan tetapi kedua sistem tersebut di-*supply* oleh 2 unit kompresor dengan sistem 1 tekanan, yaitu sekitar 7.5 barG *output compressor*.

Berikut kondisi operasi kompesor dan udara tekan di PLTP Patuha saat survey:



Gambar 6.4 Kondisi operasi kompresor dan udara tekan di PLTP Patuha saat ini

Konsultan menyarankan agar kebutuhan udara tekan untuk *Service Air* (SA) dilakukan pemasangan (*dedicated*) 1 unit kompresor untuk *supply* tekanan rendah. Akan tetapi sebelumnya sebaiknya dilakukan *assessment* mandiri atau inspeksi khusus untuk udara tekan, termasuk kebutuhan FAD untuk IA dan SA. Sebagai acuan, maka disumsikan kebutuhan SA sebesar 20% dari kebutuhan total udara tekan, maka potensi penghematan yang bisa diperoleh apabila dilakukan pemasangan SAC dengan tekanan *output* rendah adalah:

Setiap pengurangan 1 bar tekanan pada *delivery* kompresor akan mengurangi konsumsi daya sebesar 6 – 10 %.

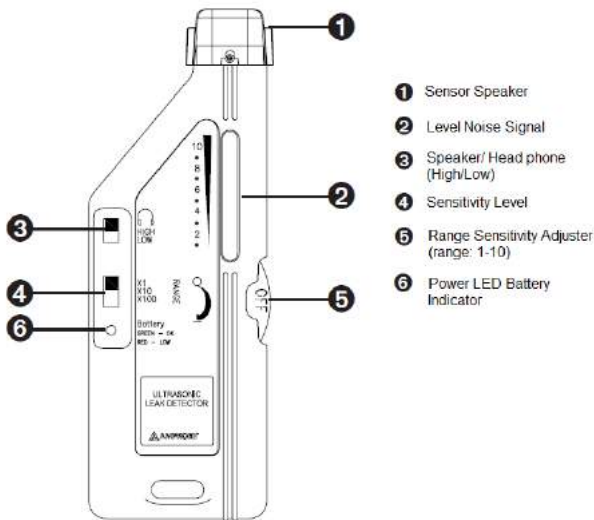
Pengurangan Tekanan		Penghematan Energi (%)		
Dari (Bar)	Ke (Bar)	Satu Tingkat pendinginan Air	Dua Tingkat pendinginan Air	Dua Tingkat pendinginan Udara
6.8	6.1	4	4	2.6
6.8	5.5	9	11	6.5

Tekanan <i>outlet</i> kompresor <i>existing</i> =	7.5	barG
Tekanan kebutuhan SAC =	1.5	barG
Tekanan SAC <i>outlet</i> diperlukan =	2	barG
% Penurunan daya =	39	%
Daya motor Kompresor saat ini =	36	kW
Daya motor Kompresor SAC target =	22.1	kW
Penghematan daya (Selisih) =	13.9	kW
Potensi <i>saving</i> per bulan =	15,940.8	kWh/h
Tariff PLN =	1114.74	Rp/kWh
<i>Saving</i> biaya =	17,769,847	Rp/bln
Investasi (termasuk instalasi) =	375,000,000	Rp.
<i>Pay back period</i> =	21.1	bulan
	1.8	tahun

6.1.5 Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor

Konsultan menyarankan dilakukan inspeksi khusus untuk mengecek kebocoran udara tekan dari kompresor *house* sampai ke *end user*. Berdasarkan pengalaman inspeksi kebocoran udara tekan banyak terjadi terutama pada sambungan, *valve* dan penggunaan pada *service air* yang *non-essential*. Maka diperlukan upaya penghematan penggunaan udara tekan dan juga menekan kebocoran yang terjadi. Tingkat penghematan pada penanggulangan kebocoran udara tekan bisa mencapai 5%-10% dari udara tekan yang *disupply*, atau dengan kata lain energi yang bisa dihemat juga berkisar antara 5 - 10% (udara tekan = energi).

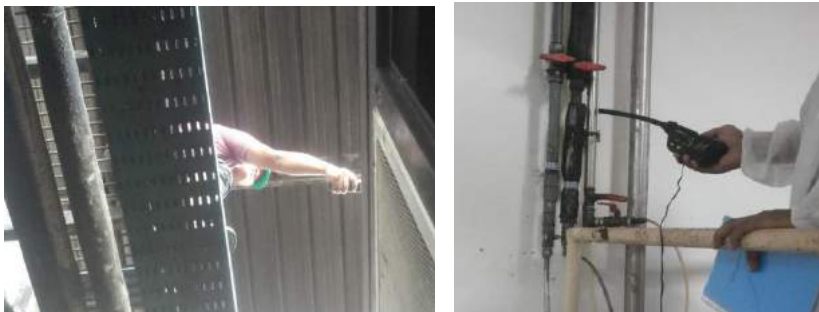
Pengujian kebocoran sistem perpipaan kompresor dilakukan dengan menggunakan alat/instrumen *Ultrasonic Leak Detector*. Gambar 6.5 memperlihatkan fitur *Ultrasonic Leak Detector* tersebut:



Gambar 6.5 Diagram alat ukur kebocoran udara tekan (*air leak detector*)

Selanjutnya dalam melakukan pengukuran seluruh angka yang diset dan dicatat dalam lembar *datasheet* sesuai dengan paramater yang diset di alat ukur.

Berikut dokumentasi pengujian kebocoran udara tekan yang dilakukan di titik-titik distribusi udara tekan:



Gambar 6.6 Contoh pengujian kebocoran udara tekan dengan *air leak detector*

Tabel 6.3 merupakan referensi identifikasi tingkat kebocoran hasil uji dengan *ultrasonic leak detector*:

Tabel 6.3 Tabel referensi identifikasi tingkat kebocoran udara tekan

Leak Quantification Data						
Scale	CFM			Nm3/hr		
	x 100	x 10	x 1	x 100	x 10	x 1
1	0.01	0.25	0.50	0.02	0.40	0.81
2	0.50	1.00	1.50	0.81	1.62	2.42
3	1.50	2.00	2.50	2.42	3.23	4.03
4	2.50	3.25	4.00	4.03	5.24	6.44
5	4.00	5.00	6.00	6.44	8.05	9.66
6	6.00	7.00	8.00	9.66	11.27	12.88
7	8.00	9.00	10.00	12.88	14.50	16.11
8	10.00	12.50	15.00	16.11	20.14	24.16
9	15.00	20.00	25.00	24.16	32.22	40.27
10	25.00	62.50	100.00	40.27	100.67	161.06

Sources : Energy Efficiency Guide for Industry in Asia –www.energyefficiencyasia.org

Dengan menggunakan tabel referensi antara *range/level ultrasonic detection* dengan nilai kebocoran (cfm), maka bisa dihitung berapa volume udara tekan yang bocor pada jaringan pipa kompresor tersebut.

Berikut ini hasil penghitungan penghematan kebocoran udara tekan jika dilakukan inspeksi khusus pada sistem udara tekan:

Daya motor Kompresor saat ini =	72	kW (2 unit)
% Penurunan kebocoran udara tekan =	5%	
Energi pada kompresor sistem/bln =	51840	kWh/bln
Penurunan energi akibat penanggulangan kebocoran =	2,592.00	kWh/bln
Tariff PLN =	1114.74	Rp/kWh
<i>Saving</i> biaya =	2,889,406	Rp/bln
Investasi (jasa inspeksi Sistem Kompresor & perbaikan kebocoran) =	100,000,000	Rp.
<i>Pay back periode</i> =	34.5	bulan
	2.9	tahun

6.1.6 Penggantian Motor Unit pada Pompa *Raw Water Intake* di Cipaku

Performa (efisiensi) pompa *Raw Water Intake* di Cipaku rendah karena faktor motor yang terpasang *oversize*.

Improvement yang diusulkan *re-size* motor pompa *Water intake* sehingga disesuaikan (diganti) dengan ukuran sesuai kapasitas pompa. Berikut data kondisi size motor terpasang dengan kebutuhan motor sesuai spesifikasi pompa :

DATA OF MOTOR DRIVEN					
Electric motor power sesuai kap. Pompa	kW			C	7.00
	HP			C	9.38
Motor Terpasang	kW	D			11.00
Gap kapasitas Motor	kW			C	4.00
Efficiency (design)	Raw Water Intake - A	%		C	39.4%

Dengan *oversize* motor terpasang tersebut mengakibatkan efisiensi pompa secara keseluruhan juga rendah (target efisiensi pompa pada BEP adalah 70% – 80%).

Dengan demikian, konsultan menyarankan agar motor diganti dengan kapasitas 7 kW. Sehingga efisiensi pompa bisa mencapai 70%- 80%.

Berikut hitungan penghematan daya motor dan biaya setelah diganti:

Daya Design motor <i>Raw Water Intake</i>	11 kW
Pembebanan (<i>load</i>) motor saat <i>running</i>	64%
Daya actual terukur saat survey	7 kW
Daya apabila dilakukan penyesuaian/ganti motor	$64\% \times 7 = 4.48 \text{ kW}$
Selisih daya antara existig vs penggantian	2,52 kW
<i>Running hours</i> motor selama 1 bulan	$24/7 \times 30 = 82.3 \text{ jam/bln}$
Potensi penghematan energi per bulan	$2.52 \times 82.3 = 207.4 \text{ kWh}$
Tariff daya listrik (acuan PLN)	Rp. 1114.74 per kWh

Potensi penghematan biaya per bulan	Rp. 207.4 x 1114.7 = Rp. 91.727/bln
Investasi (motor baru 3 phase, kap. 7 kW, 400 V)	Rp. 7.000.000
<i>Pay back periode</i>	76.3 bln (6.4 tahun)

6.1.7 Pemasangan Mikrohidro di Cipaku untuk Keperluan Penerangan

Sungai Cipaku sebagai sumber air untuk *Water Treatment* di PLTP Patuha memiliki debit yang cukup bagus dengan elevasi antara hulu dan hilir yang cukup tinggi. Dengan kondisi tersebut, maka potensi pemasangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di aliran Sungai Cipaku menjadi peluang mendapat energi (listrk) untuk keperluan penerangan di pos dan panel listrik dan pompa Cipaku. Berikut hitungan potensi pembangkitan listrik (mikrohidro) sungai Cipaku dan perkiraan biaya investasinya:

Berdasarkan data-data sekunder hasil audit air yang dilakukan pada tahun 2020, maka berikut data-data teknis mengenai sungai Cipaku:

Debit sungai Cipaku	= 16.400 kL/hari
Lebar sungai	= 3 meter
Elevasi antara hulu (sisi atas) dengan sisi hilir (buangan)	= 6 meter

Potensi Daya Listrik untuk PLTMH dihitung dengan rumus Umum berikut :

$$P = \eta \times \gamma \times h \times Q \text{ atau } P = \eta \times \rho \times g \times h \times Q$$

Dimana:

P = daya (J/s atau watts),

η = efisiensi TOTAL (diambil sebesar 0,45),

γ = berat jenis air (9810 N/m^3) ($\gamma = \rho \times g$),

ρ = massa jenis air (1000 kg/m^3),

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2),

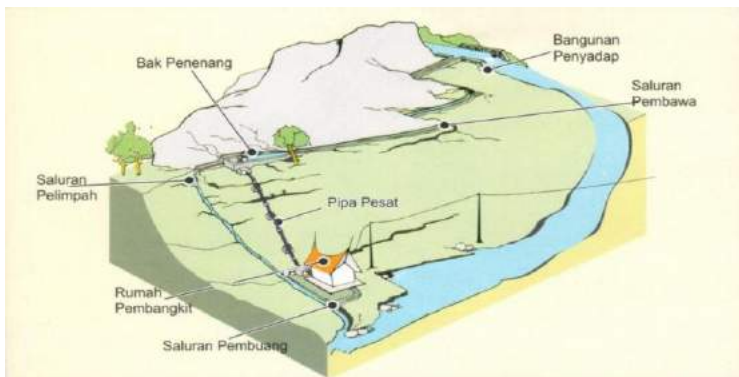
h = head netto (m),

Q = debit aliran rata-rata (m^3/s), $Q = V \cdot A$.

Dalam suatu lokasi potensi pembangkit energi minihidro dapat dipetakan sebagai suatu skema sistem (gambar) yang terdiri dari berberapa komponen bangunan sipil seperti bendungan (*weir*), saluran pengambil (*intake*), saluran pembawa, bak pengendap, saluran pembawa, bak penenang, pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit dan saluran pembuang.

Jenis fasilitas instalasi untuk PLTMH di daerah pegunungan pada umumnya terdiri dari komponen sebagai berikut:

1. Pintu Pengambilan (*Intake/Diversion*)
2. Bak Pengendapan (*Desilting Tank*)
3. Saluran Penghantar (*Headrace*)
4. Bak Penenang (*Forebay*)
5. Pipa pesat (*Penstock*)
6. Gedung Pembangkit (*Power House*)
7. Saluran Buang (*Tailrace*)
8. Panel Distribusi dan Jaringan Transmisi (*Grid Line*)



Gambar 6.7 Skema Komponen Sipil Sistem PLTMH

Penjelasan masing-masing instalasi fisik dapat dilihat pada gambar-gambar berikut:

- ***Diversion Weir dan Intake (Dam/Bendungan Pengalih dan Intake)***

Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai (*'Intake'* pembuka) ke dalam sebuah bak pengendap (*Settling Basin*). *Water intake* saat ini di Sungai Cipaku bisa dimanfaatkan juga sebagai fasilitas mikrohidro.



Gambar 6.8 Contoh Dam/ Water intake untuk PLTMH



Gambar 6.9 Lokasi Dam/water intake di Sungai Cipaku untuk PLTMH

- **Settling Basin (Bak Pengendap)**

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.



Gambar 6.10 Contoh fasilitas *Settling basin* (bak pengendap) pada PLTMH

○ **Headrace (Saluran Pembawa)**

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.



Gambar 6.11 Contoh fasilitas *headrace* (saluran pembawa) pada PLTMH

○ **Headtank (Bak Penenang)**

Fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah *penstock* dan *headrace*, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan dan kotoran/sampah lainnya.



Gambar 6.12 Contoh fasilitas *headtank* (bak penenang) pada PLTMH

○ **Penstock (Pipa Pekat)**

Penstock dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah Turbin.



Gambar 6.13 Contoh fasilitas penstock (pipa pekat) pada PLTMH

○ **Turbin dan Generator**

Perputaran gagang dari roda dapat digunakan untuk memutar sebuah alat mekanikal (seperti sebuah penggilingan biji, pemeras minyak, mesin bubut kayu dan sebagainya), atau untuk mengoperasikan sebuah generator listrik. Mesin-mesin atau alat-alat pengguna listrik, dimana diberi tenaga oleh skema hidro, disebut dengan 'Beban' (*Load*).



Gambar 6.14 Contoh turbin generator pada PLTMH

o **Panel distribusi dan jaringan listrik (*grid line*)**

Mesin-mesin atau alat-alat pengguna listrik, dimana diberi tenaga oleh skema hidro, disebut dengan 'Beban' (*Load*). Sebelum listrik masuk ke pengguna (beban), maka fasilitas pengatur berupa panel *incoming* (MDP) biasanya berada di sebelah lokasi rumah turbin generator atau menjadi 1 lokasi.



Gambar 6.15 Contoh panel MDP distribusi listrik pada PLTMH

Dari penjelasan mengenai fasilitas dan data-data sungai Cipaku tersebut, maka potensi daya (kW) *output* listrik yang dapat dibangkitkan dari mikrohidro di sungai Cipaku adalah sebagai berikut;

Data Sungai Cipaku di lokasi PLTP Patuha

Head (elevasi) : 6.00 meter

Flowrate air: 16,400 kL/hari = 11.39 m³/min

Potensi Daya Listrik untuk PLTMH dihitung dengan rumus Umum berikut :

$$P = \eta \times \gamma \times h \times Q \text{ atau } P = \eta \times \rho \times g \times h \times Q$$

Dimana

P = daya (J/s atau watts),

η = efisiensi TOTAL (diambil sebesar 0,45),

γ = berat jenis air (9810 N/m³) ($\gamma = \rho \times g$),

ρ = massa jenis air (1000 kg/m³),

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s²),

h = *head netto* (m),

Q = debit aliran rata-rata (m³/s), $Q = V \cdot A$.

Potensi Daya (P) = 5,028 Watt = 5.0 kW

Karena kebutuhan listrik PJU di pos Cipaku hanya sekitar 1 kW pada siang dan 2-3 kW pada malam, sisa daya sebesar 2 kW digunakan sebagai CSR untuk PJU di dusun sekitar pos Cipkau. Sehingga daya terpasang PLTMH tetap 5 kW.

PLMTH akan beroperasi kontinyu selama 12 bulan (sepanjang tahun), maka potensi energi:

- Energi potensi = 6,063 kWh/ tahun (terpakai di pos Cipaku rerata sekitar 3 kW, 2 kW untuk CSR)
- Potensi Penghematan Biaya dengan harga listrik Rp 1114/kWh = Rp. 29,034,414 per tahun

Investasi PLTMH

- Harga investasi PLTMH = 60,000,000 per kW (sipil dan mekanikal)
- Total investasi = Rp.301,657,500 (untuk kapasitas PLTMH 5 kW)

- *Payback Period* = 124.7 bulan = 10.4 tahun

Untuk tahapan selanjutnya, potensi penghematan ini karena hitungan potensi ini hanya memperhitungkan dari data-data potensi energi di sungai Cipaku saja (belum melakukan pengukuran detil kondisi sungai dan lokasi untuk fasilitas sipil/konstruksi PLTMH secara detil), maka konsultan menyarankan agar dilakukan kegiatan *Feasible Study* dan *Detail Engineering Design* (FS-DED) sebelum dilakukan implementasi pembangunan PLTMH di Cipaku ini.

6.2. Potensi Perbaikan Kualitas dan Penghematan Energi Di Fasilitas Pendukung (Gedung Kantor)

Konsumsi energi listrik di bangunan gedung secara porsi (persentase) terhadap penggunaan sendiri (*own use*) ± 2.56 MW adalah kurang dari 1%. Sebagai contoh daya listrik untuk gedung kantor admin atas sekitar 8.32 kW dan untuk gedung *basecamp* bawah sekitar 6.08 kW.

Meskipun secara porsi energi sangat kecil (tidak signifikan) namun demikian tetaplah penting dalam rangka pemenuhan (*complies*) terhadap regulasi.

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap gedung kantor admin atas dan kantor *basecamp* bawah dimana temuan-temuan (*findings*) yang diperoleh adalah identik (sama) secara umum terhadap kedua gedung tersebut. Beberapa rekomendasi tersebut adalah sebagai berikut:

- Pemasangan *metering* (*kWh-meter*) di panel *incoming* gedung, untuk memudahkan sistem pencatatan energi listrik secara periodik (harian, bulanan, dan tahunan), serta memudahkan dalam menghitung intensitas konsumsi energi (indek efisiensi energi) bangunan gedung;
- *Monitoring* (*house keeping*) sistem distribusi dan kualitas kelistrikan gedung;

- Perbaiki kualitas penerangan (kuat pencahayaan) di ruangan-ruangan; dan
- Implementasi PLTS jenis *on-grid*, sebagai sumber energi lain untuk memasok energi listrik ke gedung kantor.

6.2.1. Pemasangan sistem metering (kWh-meter) di Panel Incoming Gedung

Saat ini konsumsi energi listrik bangunan gedung belum bisa dihitung secara tepat, untuk menghitung intensitas konsumsi energi (indek efisiensi energi) bangunan gedung (kWh/m²/bulan atau kWh/m²/bulan) digunakan metode pendekatan yaitu dari pengukuran profil energi listrik harian gedung dengan menggunakan alat PQA (*power quality analyzer*) portable. Dengan metode ini maka diperoleh besaran intensitas konsumsi energi di masing-masing bangunan gedung, antara lain:

- Gedung kantor admin atas dengan nilai indek efisiensi energi sebesar 5.8 kWh/m²/bulan; dan
- Gedung kantor *basecamp* bawah dengan nilai indek efisiensi energi sebesar 7.11 kWh/m²/bulan.

Meskipun secara metode pendekatan dapat dihitung, namun demikian nilai pasti akan diperoleh apabila data tersebut diperoleh dari *real time* selama harian, bulanan, dan tahunan.

Untuk itu disarankan untuk memasang: 1). kWh meter di panel *incoming* gedung kantor admin atas; dan 2). kWh meter di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* bawah. Serta membuat sistem *metering* untuk SOP pencatatan energi.

Kegiatan tersebut dapat dikombinasi dengan kegiatan *house keeping* sehingga sistem distribusi dan kualitas kelistrikan gedung kantor dapat terpantau dengan baik.

6.2.2. Monitoring (*house keeping*) Sistem Distribusi dan Kualitas Kelistrikan Gedung Kantor

Findings di sistem distribusi dan kualitas kelistrikan baik di kantor admin atas dan kantor *basecamp* bawah adalah masalah pembagian beban (arus) di R-S-T.

Hal ini terjadi akibat dari penambahan beban tanpa mengukur *ampere* di *phase* terlebih dahulu. Sebaiknya kedepannya apabila akan menambah beban diukur terlebih dahulu *phase* mana yang memungkinkan dijadikan sumber. Hal ini akan membuat nilai *unbalance* arus terjaga pada %*Unbalance* yang diijinkan atau disyaratkan.

Seperti diulas diatas, sebaiknya dibuat suatu SOP yang mengkombinasikan kegiatan ini dengan kegiatan diatas (pencatatan energy listrik).

6.2.3. Perbaikan Kualitas Penerangan (Kuat Pencahayaan) di Ruangan-Ruangan Dengan Kombinasi Sumber Listrik dari PLTS *on-Grid* (Rooftop)

Definisi hemat energi adalah kualitas tetap terpenuhi dan energi yang digunakan optimal, sebagai contoh: energi turun tapi kualitas penerangan tidak tercapai itu bukanlah hemat energi. Poinnya jelas yaitu kualitas (kuat penerangan) memenuhi standar, dan konsumsi energi optimal yaitu masih di *range* standar maksimum yang diijinkan.

Kajian di gedung kantor patuha ini baik gedung admin atas dan gedung *basecamp* bawah, berdasarkan hasil perhitungan adalah kondisi kuat penerangan tidak terpenuhi dan kendalanya adalah memang daya penerangan yang kurang pas. Sehingga opsinya adalah meningkatkan daya lampu hingga memenuhi standar kuat penerangan (*Lux*). Dengan demikian konsep penghematan energi disini adalah perbaikan kualitas penerangan (dengan simulasi) untuk mencapai tingkat kuat penerangan yang memenuhi standar *Lux* yang disyaratkan namun dengan daya lampu yang paling

optimal (dicari jenis lampu dan besaran lumennya yang paling optimal).

Konsep diatas telah diuraikan di dalam bab 5 dalam laporan ini, dan dari hasil simulasi tersebut teridentifikasi besaran daya listrik yang ditambahkan untuk mendapatkan kuat penerangan yang memenuhi standar di ruangan-ruangan.

Komparasi daya sebelum (eksisting) dan setelah penambahan daya di sistem tata cahaya. Kondisi sebelum adalah 8.32 kW (total daya gedung) dan 2.01 kW untuk daya listrik di penerangan, dan kondisi sistem penerangan tidak memenuhi standar kuat penerangan yang disyaratkan.

Eksisting:	Potensi penambahan daya dari lampu
Total daya lampu 2.01 kW	Total daya lampu 2.85 kW
Total daya receptacle 6.3 kW	Total daya receptacle 6.3 kW
Total daya gedung admin: 8.32 kW	Total daya gedung admin: 9.15 kW

Kondisi setelah penambahan daya (hasil simulasi) adalah 9.15 kW (total daya gedung) dan 2.85 kW untuk daya listrik di penerangan, dan kondisi sistem penerangan memenuhi standar kuat penerangan yang disyaratkan.

Simulasi konsumsi energi eksisting, efek penambahan daya di sistem kelistrikan, dan potensi dari PLTS on-grid 10 kWp:

Data kondisi gedung admin yang berpotensi di lakukan pemasangan PLTS rooftop dapat dilihat pada gambar 6.16.

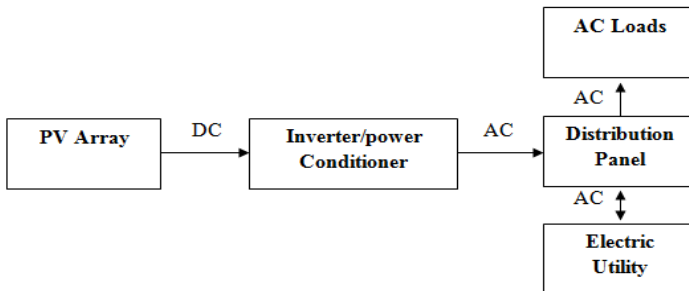
Potensi kebutuhan listrik di Gedung admin yaitu pada beban siang hari beban puncak mencapai 8,32 kW. Untuk memenuhi kebutuhan kuat pencahayaan dibangun, maka di rencanakan dibangun PLTS 10 kWp.



Gambar 6.16 Potensi Rooftop (atap) di Bangunan Gedung Admin

Teknologi dan Rancangan PLTS *Rooftop On-Grid*:

PLTS *grid connected (OnGrid)* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik yang ada. Komponen utama dalam sistem ini adalah inverter atau *power conditioning unit (PCU)*. Inverter inilah yang berfungsi untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (*Utility Grid*).



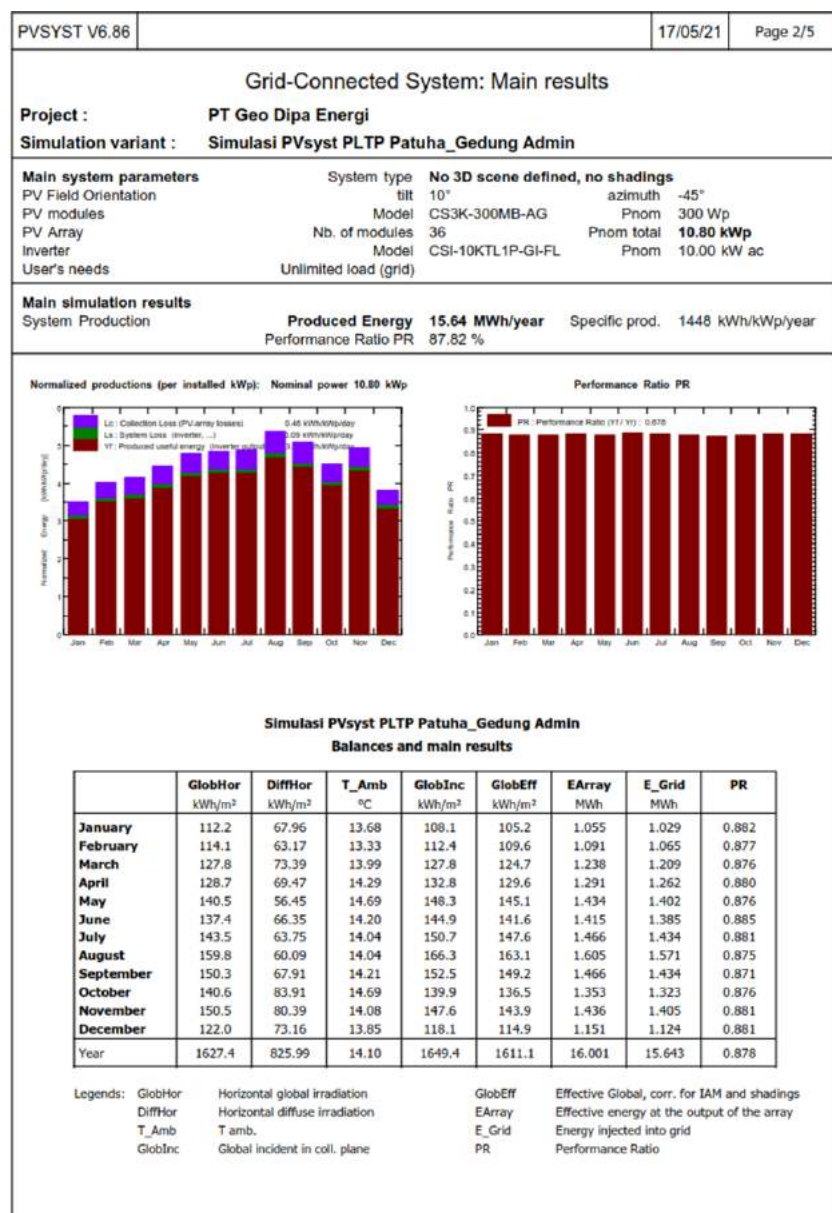
Gambar 6.17 Diagram sistem PLTS *grid connected (OnGrid)*

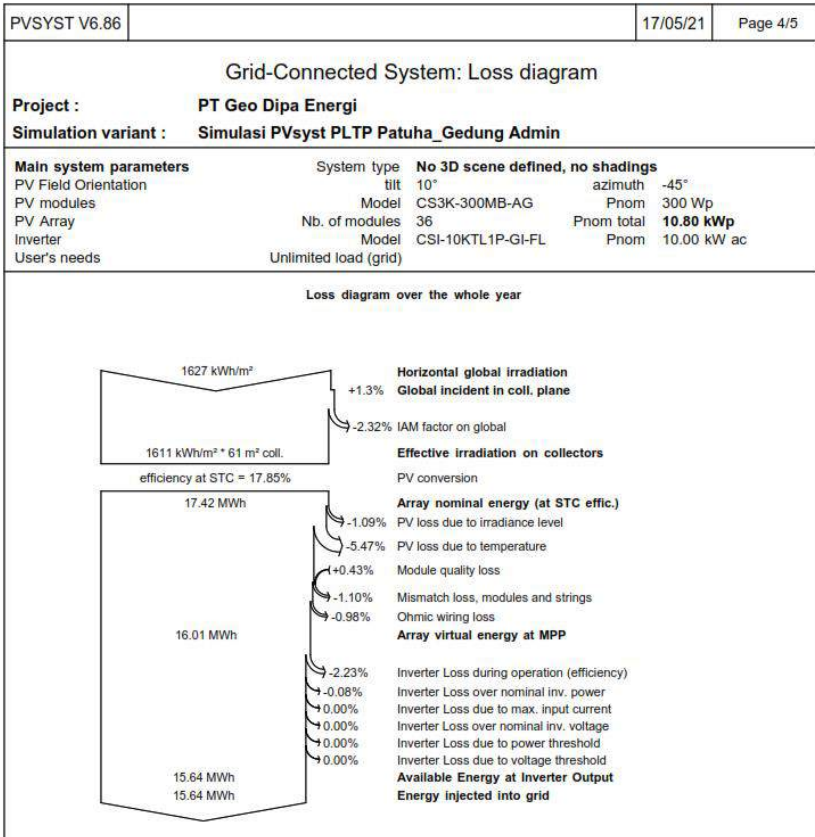
Dari gambar diagram *grid connected* diatas dapat dilihat daya DC yang dihasilkan oleh PV array PLTS dikirim ke inverter atau *power conditioning unit* (PCU) untuk untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC, sehingga distribution panel dapat mengirim daya ke jaringan listrik (*Electric utility*) di gedung admin dan dapat memenuhi kebutuhan beban AC (arus bolak-balik).

Dari beban yang ada mencapai 8,32 kW dan pemenuhan kebutuhan kuat pencahayaan, maka direncanakan pemasangan PLTS on grid sebesar 10 kWp, maka dengan menggunakan software PV Syst diperoleh simulasi kebutuhan *pv module, inverter, luas area* dan potensi reduksi CO2 sebagai berikut:

PVSYST V6.86		17/05/21	Page 1/5						
Grid-Connected System: Simulation parameters									
Project : PT Geo Dipa Energi									
Geographical Site	Patuha	Country	Indonesia						
Situation	Latitude -7.18° S	Longitude	107.42° E						
Time defined as	Legal Time Time zone UT+7	Altitude	557 m						
Meteo data:	Patuha	Meteonorm 7.2 (2010-2014), Sat=100% - Synthetic							
Simulation variant :	Simulasi PVsyst PLTP Patuha_Gedung Admin								
	Simulation date	17/05/21 08h29							
Simulation parameters	System type	No 3D scene defined, no shadings							
Collector Plane Orientation	Tilt	10°	Azimuth -45°						
Models used	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm						
Horizon	Free Horizon								
Near Shadings	No Shadings								
User's needs :	Unlimited load (grid)								
PV Array Characteristics									
PV module	Si-mono	Model	CS3K-300MB-AG						
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.							
Number of PV modules	In series	12 modules	In parallel 3 strings						
Total number of PV modules	Nb. modules	36	Unit Nom. Power 300 Wp						
Array global power	Nominal (STC)	10.80 kWp	At operating cond. 9.81 kWp (50°C)						
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	351 V	1 mpp 28 A						
Total area	Module area	60.6 m²	Cell area 52.8 m²						
Inverter									
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.							
Characteristics	Operating Voltage	100-500 V	Unit Nom. Power 10.00 kWac						
Inverter pack	Nb. of inverters	3 * MPPT 33 %	Total Power 10.0 kWac Pnom ratio 1.08						
PV Array loss factors									
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s						
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	209 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC						
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.4 %						
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP						
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %						
Incidence effect (IAM): User defined profile									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

Evaluasi Pemanfaatan Energi
PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha





PVSYST V6.86		17/05/21	Page 5/5
Grid-Connected System: CO2 Balance			
Project : PT Geo Dipa Energi			
Simulation variant : Simulasi PVsyst PLTP Patuha_Gedung Admin			
Main system parameters		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	System type	tilt	10° azimuth -45°
PV modules	Model	CS3K-300MB-AG	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	36	Pnom total 10.80 kWp
Inverter	Model	CSI-10KTL1P-GI-FL	Pnom 10.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Produced Emissions		Total: 20.26 tCO2	
		Source: Detailed calculation from table below	
Replaced Emissions		Total: 344.5 tCO2	
System production:		15.64 MWh/yr	Lifetime: 30 years
Grid Lifecycle Emissions:		734 gCO2/kWh	Annual Degradation: 1.0 %
Source:		IEA List	Country: Indonesia
CO2 Emission Balance		Total: 278.6 tCO2	
System Lifecycle Emissions Details:			
Item	Modules	Supports	
LCE	1713 kgCO2/kWp	4.90 kgCO2/kg	
Quantity	10.8 kWp	360 kg	
Subtotal [kgCO2]	18497	1762	

Hasil rangkuman dari simulasi PV Syst yang dilakukan di Bangunan Gedung Admin diatas dapat dirangkum dalam tabulasi sebagai berikut:

No.	Parameter	Nilai	Keterangan
System		On Grid PV System	
1	Data Klimatologi	satelit NASA (software satelit data Meteonomr Versi 7.1)	
2	PV Generator Output	10,8 kWp	
3	PV Generator Surface	60,6 m ²	
4	Number of PV-modules	96 unit	
5	Total Area Surface area	52,8 m ²	PV-module & struktur area
PV Generator Module			
6	PV module	36 x 300 Wp	
7	Number of String	10 *	1 sub array PV
8	Azimuth	-45°	
9	Orientation	North 11 °	Sudut Matahari

10	Installation Type	Mounted - Open Space	
11	Total PV Generator Surface module	60,6 m ²	
12	Shading	0 % (No Shading)	Karena diatas (atap gedung)
Inverter			
13	Number of Inverter	3* MPPT 33%	
14	Unit Nom.Power	4 kW AC	
AC Mains			
15	Number of phase	3	
16	Mains Voltage (3-phase)	100 - 500 V	
Overall System Performance			
17	Overall PV System Efficiency at STC	17,85 %	
18	Total energy injected to grid	15,64 MWh/year	4 jam efektif radiasi matahari per hari
Energy Efeciency Revenue			
19	Cost Energy Saving (IDR)/ thn	23.460.000/ thn	Asumsi TDL = Rp. 1500/ kWh

Simulasi Perhitungan Investasi dan Payback periode:

Uraian/Jenis Material	Harga (Rp)	Jumlah	Harga Total (Rp)
1. Pekerjaan Persiapan			
Setting Out / Persiapan lokasi	2.000.000	1	2.000.000
Mobilisasi dan demobilisasi (termasuk jasa pengiriman)	5.000.000	1	5.000.000
Total Pekerjaan Persiapan			7.000.000
2. Biaya PLTS Terpusat			
Photovoltaic System (Solar Panel @ 300 Wp)	4.500.000	36	162.000.000
Inverter	3.500.000	3	10.500.000
Controller System	30.000.000	1	30.000.000
Penangkal Petir	15.000.000	1	15.000.000
Panel Distribusi, Power Cable & Grounding	25.000.000	1	25.000.000
Lampu Penerangan PLTS di Pembangkit	1.500.000	1	1.500.000
Peralatan Kerja dan Keselamatan Kerja	2.500.000	1	2.500.000
Rumah Pembangkit (Powerhouse) berikut pondasinya	20.000.000	1	20.000.000
Pondasi penangkal petir	1.000.000	1	1.000.000
Total Biaya PLTS Terpusat			267.500.000
3. Biaya Komponen Lain-Lain			
MCB 1Ø	100.000	1	100.000
MCB 3Ø	550.000	1	550.000
Kabel NYM 2 x 2,5 mm ²	10.000.000	set	10.000.000
Kabel NYFGbY 4x10 mm ²	20.000.000	set	20.000.000
Kabel NYFGbY 4 x 16 mm ²	3.000.000	set	3.000.000
Testing & Commisioning	10.000.000	1	10.000.000
Total Komponen Lain-Lain			43.650.000
Total Investasi PLTS Terpusat (Rp)			318.150.000

Dengan asumsi harga tarif TDL akan naik setiap tahun sebesar 10% per tahun, maka tingkat pengembalian modal (*payback period*) PLTS *rooftop* tersebut adalah sebagai berikut:

(1)	Investasi PLTS Rooftop	IDR	318.150.000	Tahun ke-1 project
(2)	Energy cost saving	IDR	23.460.000	Tahun ke-1 operasi
(3)		IDR	55.317.453	Pada tahun ke-10 dengan tingkat kenaikan TDL 10% pa.
(4)	Pay back periode (tanpa kenaikan TDL per tahun)	Tahun	= (1)/ (2) = 14 tahun	
(5)	Pay back periode (dengan adanya kenaikan TDL 10% per tahun)	Tahun	= (1)/ (3) = 5,75 tahun	Payback dg adanya kenaikan TDL 10% pa

Catatan:

1. Perlu dilakukan kajian/studi Perhitungan potensi, struktur bangunan dan spesifikasi peralatan yang lebih detail
2. PLTS *Rooftop* juga bisa diaplikasikan untuk area parkir kendaraan (*carport*) di Area gedung admin
3. Total CO2 yang direduksi sebesar 707.0 tCO₂

Contoh gambaran PLTS *Rooftop* untuk area parkir:





Gambar 6.18 Contoh PLTS *rooftop* diatas *carport* (area parkir)

Untuk tahapan selanjutnya, potensi penghematan ini karena hitungan potensi ini hanya perhitungan dari data-data potensi energi di area rooftop kantor saja (belum melakukan pengukuran detil kondisi intensitas matahari *real* saat siang dan malam hari), maka konsultan menyarankan agar dilakukan kegiatan *Feasible Study* dan *Detail Engineering Design* (FS-DED) sebelum dilakukan implementasi pembangunan PLTS *Rooftop* di kantor Admin atas ataupun diatas *carport* ini.

6.2.4. Membangun Budaya Hemat Energi

Perusahaan yang tumbuh, berkembang, dan berkelanjutan pada umumnya dibangun dengan membudayakan nilai-nilai perusahaan, dan nilai-nilai perusahaan tersebut merupakan terjemahan dari visi, misi perusahaan. Dengan kata lain visi, misi yang diterjemahkan menjadi (sasaran) strategi, dimana menerapkan (membudayakan) nilai-nilai perusahaan menjadi bagian dalam strategi perusahaan.

Seperti halnya nilai-nilai perusahaan, maka inisiatif-inisiatif hemat energi inipun dapat di masukan kedalam nilai-nilai perusahaan dan dibudayakan. Mengapa hal ini menjadi penting, salah satunya adalah adanya hasil kajian dari Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Dirjen EBTKE) Kementerian ESDM, yang menyebutkan pelaksanaan budaya hemat energi di perusahaan akan mengefisiensikan konsumsi energi sebesar $\pm 8\%$.

Berdasarkan hal tersebut maka, “Membangun Budaya Hemat Energi” di unit Patuha direkomendasikan menjadi salah satu rekomendasi untuk diimplementasikan. Kegiatan (program) ini menjadi selaras dengan adanya rencana penerapan sistem manajemen energi (SME) di Geo Dipa Energi Unit Patuha.

Untuk membangun budaya hemat energi, diawali dengan:

- Membangun kapasitas (*capacity building*), dimana pada tahap ini perusahaan mengirimkan beberapa personel untuk mengikuti pelatihan. Personel yang telah mengikuti pelatihan ini akan memiliki pengetahuan yang cukup mengenai konservasi energi hal ini dibuktikan dengan akan adanya inisiatif-inisiatif hemat energi yang diusulkan oleh personel-personel tersebut. Tahapan selanjutnya, personel tersebut diharuskan untuk membuat suatu kegiatan (program) berupa *coaching clinic* atau *workshop* yang pesertanya terdiri dari wakil dari tiap-tiap unit/divisi/departemen, hal ini bertujuan agar wakil-wakil tersebut dapat menjadi *agent of change* di unit/divisi/departemennya.
- Sosialisasi dan kampanye hemat energi, kegiatan ini ditujukan sebagai kegiatan penguat (*reinforcement*), bentuk kegiatannya berupa desiminasi informasi (pesan/ajakan hemat energi) melalui spanduk, *banner*, *sticker*, bahkan via jaringan intranet perusahaan.

Beberapa contoh implementasi budaya hemat energi, adalah sebagai berikut:

- 1) Ajakan melalui sticker, “Budaya hemat energi, merupakan budaya orang hebat”;
- 2) Penerapan melalui SOP, misalkan staf yang akan bergegas untuk tugas monitoring ke lapangan mematikan lampu di area kerjanya (desain sistem lampu akan dikondisikan untuk menunjang hal ini melalui implementasi sistem penerangan berbasis *infra-red on/off* saklar lampu). Dengan teknologi ini

lampu yang mati hanya lampu tersebut sedangkan lainnya tidak.

- 3) Penerapan melalui SOP, misalkan staf/operator yang melakukan *monitoring* di MCC, setelah selesai *monitoring* maka operator tersebut mematikan saklar lampu.

Beberapa hal tersebut diatas akan di tunjang dengan infrastruktur, yang akan dijelaskan pada bagian berikut, “aplikasi *smart-building*”.

6.2.5. Aplikasi *Smart-building*

Seperti dijelaskan diatas, konsep smart-building yang akan dibangun ditujukan menjadi bagian (*supporting*) terwujudnya budaya hemat energi yang berkelanjutan.

Beberapa sistem aplikasi teknologi yang telah ada pada sistem penerangan antara lain: 1). *Motion censor*; 2). *Remote (infra-red)* saklar; 3). *Diming* (auto redup); 4). Saklar terpusat.

- Motion sensor banyak diterapkan di area-area seperti selasar (hotel), tangga darurat (gedung), ruang meeting. Umumnya diterapkan di area-area dengan okupansi orang yang relatif jarang orang beraktifitas. Motion sensor tidak akan efektif apabila dipasang di okupansi tinggi, misalkan ruangan kerja dan selasar yang banyak orang berlalu-lalang.
- Remote saklar banyak diterapkan pada sistem tata cahaya, dimana pada masing-masing lampu atau grup lampu atau zona lampu dipasang saklar *infrared* sehingga proses *on/off* nya dapat dilakukan dengan menggunakan remote.
- *Diming* (auto redup) biasanya dikombinasikan dengan motion sensor, yang cara kerjanya adalah pada saat sensor tidak menangkap gerakan maka lampu akan meredup sampai 25% (tergantung setting) dan apabila ada gerakan maka lampu menyala kembali 100%. Ini banyak diterapkan di sistem penerangan jalan umum (PJU).

- Saklar terpusat banyak digunakan di kamar-kamar hotel yang cara kerjanya saat kartu (*card*) dicabut, maka suplai listrik ke kamar tersebut *off* (terputus).

Berdasarkan teknologi *smart building diatas*, maka beberapa aplikasi teknologi tersebut akan diterapkan di fasilitas penunjang unit patuha, antara lain:

- 1) Motion sensor;
- 2) Remote saklar (*switch on/off infra-red*);
- 3) Saklar terpusat di gedung Admin atas;

a) Motion sensor



Prinsip kerja:

Sensor dikoneksikan ke saklar lampu, sensor akan mendeteksi gerakan. Apabila sensor tidak menangkap gerakan selama 8 menit (setting misalkan 8 min) maka sensor akan memutuskan saklar (off) dan lampu akan mati (off).

Dalam kondisi off, apabila sensor menangkap ada gerakan maka sensor akan menghidupkan saklar dan lampu hidup (on). Kondisi

on ini terus hingga sensor tidak menangkap ada gerakan selama 8 menit.


Penerapan teknologi motion sensor ini, direkomendasikan diterap- kan di:

1. Ruang *meeting* kawah Ciwidey;
2. Ruang meeting Cipaku;
3. Ruang server;
4. Mushola;
5. Ruang *HSE Manager*;
6. Ruang *Maintenance Manager*; dan
7. Ruang *Product Manager*.

Estimasi biaya implementasi adalah:

No	Item	Harga Rp.	Jumlah Pcs	Total Rp.
1	Motion sensor	125,000	7	875,000
2	Wiring, material, dan jasa	5,000,000		5,000,000
Grand total				5,875,000

b) Remote saklar ruangan kerja staf



6 Channel On/Off 220V Remote Kontrol Nikkel Switch Digital Remote Control Switch Untuk Lampu & Light control Switch

1 Pesanan

US \$12.49

US \$13.01 ~~US \$13.95~~ -6%

US \$1.81 ~~US \$1.99~~ -9% [Dapatkan kupon](#)

Jumlah: 1 + 334 Piring tersedia

Pengiriman: US \$1.47 ke Indonesia via AliExpress Standard Shipping - Estimasi Pengiriman: 20-25 hari

[Beli sekarang](#) [Tambah ke troli](#) 119

Perlindungan Pembeli 75 Hari
jaminan uang kembali

Prinsip kerja:

Mekanisme *switch on/off* dilakukan melalui media infrared. Sehingga proses menyalakan/mematikan lampu dilakukan dengan menekan tombol remote. Jumlah chanel yang dapat dilayani 6 chanel sehingga dapat digunakan pada 6 armatur lampu. Kelebihan sistem ini diantaranya fleksibilitas dimana kita bisa mematikan salah satu atau beberapa lampu. Sehingga kita bisa mematikan lampu diatas meja kerja kita tanpa mengganggu lampu yang lainnya (yang lainnya tetap *on* /menyala).

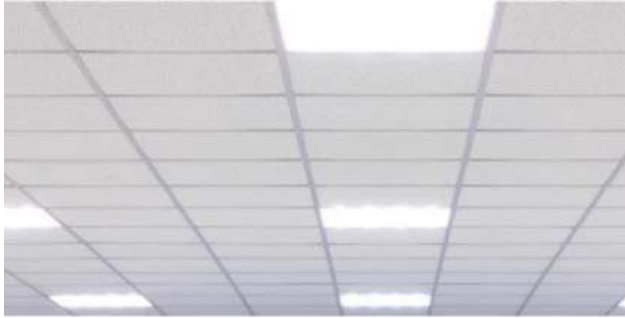
Penerapan teknologi *switch on/off infrared* ini, direkomendasikan diterapkan di:

1. Ruang *HSE Staff*
2. Ruang *Maintenance Staff*
3. Ruang DSC

Estimasi biaya implementasi adalah:

No	Item	Harga Rp.	Jumlah Pcs	Total Rp.
1	<i>Switch on/off infra-red 6 chanel</i>	450,000	3	1,350,000
2	<i>Wiring, material, dan jasa</i>	4,500,000		4,500,000
Grand total				5,850,000

Pada saat penerapan teknologi *switch on/off infrared* ini, disarankan pembangunannya berbarengan dengan *layouting* sistem lampu dan sebaiknya *ceiling* yang digunakan adalah jenis *ceiling tile* seperti gambar dibawah. *Ceiling* jenis ini memiliki fleksibilitas saat melakukan *wiring*, ataupun pemeliharaan dan perbaikan.



Gambar 6.19. Langit-langit jenis ceiling-tile

Teknologi *switch on/off infra-red* ini juga perlu dikaji untuk diterapkan di gedung CCR dan *Turbine House*. Kajian ini penting mengingat apabila ada beberapa zona yang memang secara *default* lampu harus menyala. Sehingga beberapa zona yang memungkinkan lampu boleh di matikan dapat diterapkan teknologi *switch on/off infra-red* ini.

c) Saklar terpusat gedung admin atas



Prinsip kerja:

Mekanisme *switch on/off* dilakukan melalui media kartu (*card*). Sehingga proses menyalakan/ mematikan suplai daya (secara terpusat) dilakukan dengan memasang dan melepaskan kartu.

Dengan menerapkan teknologi *switch on/off* suplai daya terpusat ini perlu dikaji untuk diterapkan di gedung admin atas. Kajian ini penting mengingat apabila ada beberapa zona yang memang secara *default* suplai daya tidak boleh terputus seperti server dan ruangan DSC.

Estimasi biaya implementasi adalah:

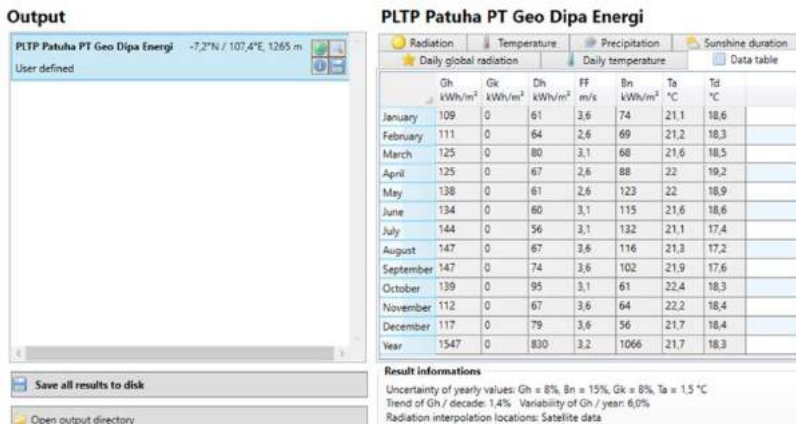
No	Item	Harga Rp.	Jumlah Pcs	Total Rp.
1	Key card switch	450,000	1	450,000
2	Wiring, material, dan jasa	9,500,000		9,500,000
Grand total				9,950,000

6.2.6. PLTS terpusat on-grid di Lokasi Sumur PLTP Patuha

1) Potensi Irradiasi Matahari di Patuha

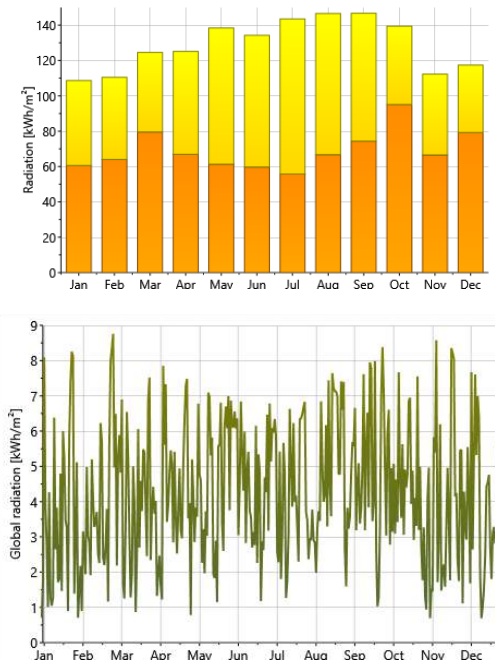
Potensi irradiasi matahari merupakan informasi awal untuk mengetahui potensi pembangkitan listrik dari modul surya (*PV module*) pada PLTS. Data irradiasi matahari diperoleh dari satelit NASA (*software satelit data Meteonorm Versi 7.1*) selama 1 tahun untuk wilayah Patuha.

Untuk melakukan simulasi dengan PV Syst pada perencanaan PLTS diperlukan data pengukuran harian selanjang bulan selama 1 tahun, sehingga diperlukan data dari satelit NASA (*software satelit data Meteonorm Versi 7.1*). Berikut ini data irradiasi matahari dan temperatur dan kecepatan udara (*wind speed*) di area PLTP Patuha:

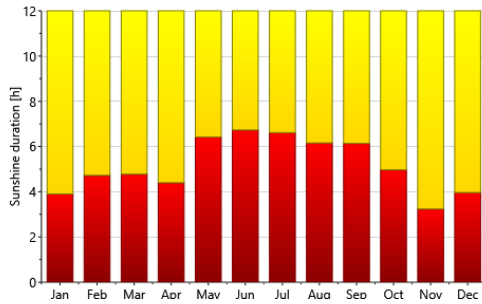
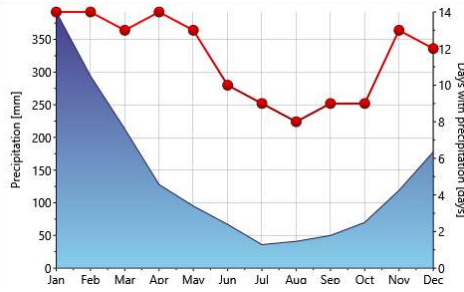
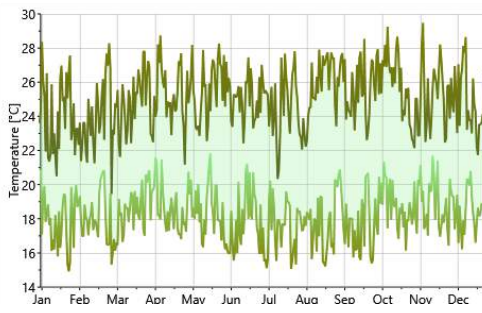
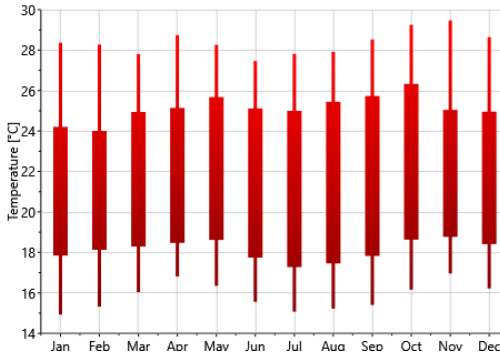


Gambar 6.20 Data irradiansi matahari selama 1 tahun NASA
(diambil dari satelit data Meteonorm Versi 7.1)

Berikut ini data-data irradiansi, temperatur, lama penyinaran efektif sinar matahari sepanjang tahun selama 1 tahun di area Patuha (diambil dari NASA):



Evaluasi Pemanfaatan Energi
 PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha



Selanjutnya data-data tersebut akan dimasukkan dalam variabel pada proses simulasi perencanaan PLTS dengan *software* PV SYST.

2) Perencanaan Kapasitas Daya PLTS

a. Perhitungan Kapasitas PLTS Untuk Lampu penerangan di Lokasi Sumur PLTP Patuha

Dari hasil pengukuran listrik di masing-masing lokasi sumur diperoleh konsumsi daya listrik sebagai berikut:

Lokasi Sumur								
Amp	G	H	U	V	D	W	A	
R	1,75	8,02	12,02	6,87	8	8,69	7,27	
S	0,26	3,31	5,65	12	7,78	9,17	6,28	
T	2,79	2,52	8,05	6,74	7,71	6,92	5,27	
Voltage	220							
Cosphi	0,96							
kW								
R	0,37	1,69	2,54	1,45	1,69	1,84	1,54	
S	0,05	0,70	1,19	2,53	1,64	1,94	1,33	
T	0,59	0,53	1,70	1,42	1,63	1,46	1,11	
kW Tot	1,01	2,93	5,43	5,41	4,96	5,23	3,97	
kWh/day	12,2	35,1	65,2	64,9	59,5	62,8	47,7	

Evaluasi kelayakan pembangunan PLTS di lokasi Sumur PLTP Patuha, berpotensi untuk dilakukan penyusunan *Detail engineering design* (DED). Sebelum dilakukan DED, maka dihitung kebutuhan kapasitas PLTS menggunakan *software* PV Syst. Hasil *running* PV Syst tersebut menghasilkan *spread sheet* simulasi kebutuhan daya dan spesifikasi teknis dari PLTS yang dapat dilihat dalam lampiran dari laporan Audit Energi ini.

Hasil rangkuman dari simulasi PV Syst yang dilakukan di Lokasi Sumur Sumur diatas dapat dirangkum dalam tabulasi sebagai berikut:

No.	Parameter	Satuan	Lokasi		
			G	U,V,D, & W *)	H&A
System			Grid-Connected PV System		
1	Data Klimatologi		Satelit NASA (software satelit data Meteornorm Versi 7.1)		
2	PV Generator Output	kWp	2,1	10,8	8,1
3	PV Generator Surface	m ²	10,3	52,8	39,6
4	Number of PV-modules	unit	7	36	27
5	Total Area Surface PLTS Terpusat	m ²	11,8	60,6	45,4
6	Number of Inverter	unit	1	3	3
7	Number of Battery Charger	unit	15	29 in series x 2 paralel	20 in series
PV Generator Module					
8	PV module	Wp	7 x 300	36 x 300	27 x 300
9	Inclination		10 °	10 °	10 °
10	Orientation		North -45 °	North -45 °	North -45 °
11	Total PV Generator Surface module	m ²	11,8	60,6	45,4
12	Shading	%	0	0	0
Inverter					
13	Number of Inverter	unit	1	3	3
14	Configuration		-	3*MPPT 33%	3*MPPT 33%
AC Mains					
15	Number of phase		3	3	3
16	Mains Voltage (1-phase)	V	100-500V	100-500V	100-500V
17	Displacement Power Factor (cos phi)		+/- 1	+/- 1	+/- 1
Battery					
18	Type		Lithium-Acid	Lithium-Acid	Lithium-Acid
19	Capacity	Ah	100	100	100
20	Number of battery	Unit	15	58	20
Overall System Performance					
21	Overall PV System Efficiency at STC	%	17,85	17,85	17,85
22	Total energy injected to grid	kWh/year	2.644	58.280	20.460
Energy Efeciency Revenue					
23	Cost Energy Saving (IDR)/ thn	Rp/thn	3.966.000	87.420.000	30.690.000
24	CO2 Emission Balance	tCO2	35,3	1024,4	403,8
*) Lokasi U,V,D, & W memiliki kapasitas PLTS yang sama					
Asumsi TDL : 1500/kWh					

b. Perhitungan Biaya Investasi

Komponen-komponen utama yang perlu dihitung dalam penentuan biaya investasi PLTS Terpusat di adalah sebagai berikut:

No.	Sistem Utama	Komponen
1.	Modul Surya Terpusat (PV Moduk array)	<ul style="list-style-type: none"> a. PV module b. Kontruksi sistem Penyangga (main, secondary & assesories) c. Combiner Box (junction) d. Pagar PV-module Terpusat e. Penangkal Petir f. <i>Wiring set</i> (Kabel) g. Pekerjaan sipil pondasi anchor dan penangkal petir.
2.	Rumah Pembangkit	<ul style="list-style-type: none"> a. Inverter b. Battery inverter (charge) c. Battery pack system d. RMS e. Pyranometer system f. Security /CCT System & recorder g. <i>Wiring set</i> (kabel). h. Pagar BRC i. Bangunan / Pekerjaan sipil konstruksi power house j. Lampu penerangan Pembangkit
3.	Assesories	<ul style="list-style-type: none"> a. Pre-construction job b. Finishing Engineering c. Mob-demob / transportasi d. Commisioning test (SLO) e. Other structure/ construction

Estimasi biaya investasi adalah:

Evaluasi Pemanfaatan Energi
PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha

Uraian/Jenis Material	Harga (Rp)	Jumlah	Harga Total (Rp)
1. Pekerjaan Persiapan (7 lokasi Sumur)			
Setting Out / Persiapan lokasi	2.000.000	7	14.000.000
Mobilisasi dan demobilisasi (termasuk jasa pengiriman)	5.000.000	7	35.000.000
Total Pekerjaan Persiapan			49.000.000
2. Biaya PLTS Terpusat (7 lokasi)			
Photovoltaic System (Solar Panel @ 300 Wp)	4.500.000	70	315.000.000
Inverter	3.500.000	7	24.500.000
Battery System	1.800.000	64	115.200.000
Controller System	30.000.000	7	210.000.000
Penangkal Petir	15.000.000	7	105.000.000
Panel Distribusi, Power Cable & Grounding	25.000.000	7	175.000.000
Lampu Penerangan PLTS di Pembangkit	1.500.000	7	10.500.000
Peralatan Kerja dan Keselamatan Kerja	2.500.000	1	2.500.000
Rumah Pembangkit (Powerhouse) berikut pondasinya	20.000.000	7	140.000.000
Pondasi penangkal petir	1.000.000	7	7.000.000
Total Biaya PLTS Terpusat			1.104.700.000
3. Biaya Komponen Lain-Lain			
MCB 1Ø	100.000	7	700.000
MCB 3Ø	550.000	7	3.850.000
Kabel NYM 2 x 2.5 mm ²	20.000.000	set	20.000.000
Kabel NYFGbY 4x10 mm ²	50.000.000	set	40.000.000
Kabel NYFGbY 4 x 16 mm ²	3.000.000	set	3.000.000
Testing & Commissioning	20.000.000	1	20.000.000
Total Komponen Lain-Lain			87.550.000
Total Investasi PLTS Terpusat (Rp)			1.241.250.000

Total Nilai Investasi adalah Rp. 1.241.250.000,-

Simulasi Perhitungan Investasi dan Payback periode:

Dengan asumsi harga tarif TDL akan naik setiap tahun sebesar 10% per tahun, maka tingkat pengembalian modal (*payback period*) PLTS tersebut adalah sebagai berikut:

(1)	Investasi PLTS	IDR	1.241.250.000	Tahun ke-1 project
(2)	Energy cost saving	IDR	122.076.000	Tahun ke-1 operasi
(3)		IDR	287.848.822	Pada tahun ke-10 dengan tingkat kenaikan TDL 10% pa.
(4)	Pay back periode (tanpa kenaikan TDL per tahun)	Tahun	= (1)/ (2) = 10,2 tahun	
(5)	Pay back periode (dengan adanya kenaikan TDL 10% per tahun)	Tahun	=(1)/(3) = 4,3 tahun	Payback dg adanya kenaikan TDL 10% pa

Catatan:

1. Perlu dilakukan kajian/studi Perhitungan potensi, struktur bangunan dan spesifikasi peralatan yang lebih detail
2. Total CO₂ yang direduksi sebesar 1463,5 tCO₂

Untuk tahapan selanjutnya, potensi penghematan ini karena hitungan potensi ini hanya perhitungan dari data-data potensi energi di masing-masing pos sumur saja (belum melakukan pengukuran detil kondisi demand di pos sumur saat siang dan malam hari), maka konsultan menyarankan agar dilakukan kegiatan *Feasible Study* dan *Detail Engineering Design* (FS-DED) sebelum dilakukan implementasi pembangunan PLTS ini.

BAB 7

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil evaluasi audit energi pada pembangkit PLTP Patuha Unit-1 adalah sebagai berikut:

7.1.1 Kinerja Energi PLTP

1. Dari data historis selama 3 tahun (2018-2020) diperoleh pola produksi listrik *gross* yang berfluktuasi sekitar 33.000 – 42.000 MWh.
2. Total konsumsi *steam* sebagai sumber energi primer utama di PLTP Patuha dalam 1 tahun pada periode 2018-2020 rata-rata adalah sebesar 2.882.329 ton.

Selain *steam* dari panas bumi sebagai energi primer, PLTP Patuha juga mengkonsumsi *fuel oil* (bahan bakar minyak) pada saat *start-up* setelah *shutdown* dan untuk penggunaan *supporting facilities*. Konsumsi *fuel oil* rata-rata pertahun mencapai 2400 Liter.

3. Nilai intensitas konsumsi energi rerata tahun 2018 adalah 0,0586 GJ/GJ (5.86%), tahun 2019 dan 2020 turun menjadi 0,0535 GJ/GJ (5.35%) dan 0,0543 GJ/GJ (5.43%).

Secara total, dilihat dari konsumsi energi *own used*, kecenderungan intensitas energi dari tahun 2017 sampai dengan 2019 mengalami penurunan rata-rata mencapai 8,7%. Kemudian pada 2019 ke 2020 mengalami kenaikan sebesar 1,5%.

Nilai Intensitas energi tersebut, jika di bandingkan dengan *benchmark* sesuai dengan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan Nomor: P.19/PPKL/SET/KUM.1/10/2018 tentang *Benchmarking* Sektor Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, maka nilai intensitas energi di PLTP Patuha masuk kedalam nilai rata-rata Intensitas energi Industri PLTP diseluruh indonesia (Pada posisi peringkat 50% rata-rata).

7.1.2 Penggunaan Energi Sendiri (*Own Used*) dan SEUs

1. Total konsumsi steam sebagai sumber energi primer utama di PLTP Patuha dalam 1 tahun pada periode 2018-2020 rata-rata adalah sebesar 2.882.329 ton.
2. Total konsumsi listrik sebagai sumber energi final (*own used*) di PLTP Patuha Unit 1 dalam 3 tahun terakhir (2018-2020) rata-rata adalah sebesar 24.229 MWh pertahun dengan prosentase rata-rata sebesar 5,26% dari total konsumsi listrik untuk pembangkitan.
3. Daftar peralatan pengguna energi (listrik) di PLTP Patuha Unit-1 yang tergolong kategori SEUs adalah sebagai berikut:

CT Fan, 5 unit (MV)	26.2%
HWP, 2 unit (MV)	36.5%
LRVP, 1 unit (MV)	16.9%
ACWP, 1 unit (LV MCC 1)	5.3%
Re-Injeksi Pump, 1 unit (LV MCC1)	1.5%
Air Compressor, 2 unit (LV MCC 1)	1.3%
Total % konsumsi energi =	87.8%

7.1.3 Kinerja *Steam Turbin Generator*

Hasil penghitungan *steam turbin heat rate* (HR) dari neraca massa energi yang telah dibuat diatas adalah sebagai berikut

Evaluasi Performa STG

No.	Parameter	Satuan	Kondisi Operasi	
			Malam	Siang
1	Entahpy Inlet Flow	GJ/h	973.8	975.6
2	Enthalpy Exhaust Flow	GJ/h	67.63	70.69
3	Total Energy absorbed by Turbine	GJ/h	906.2	904.9
4	Power Generator output	GJ/h	195.2	193.4
5	Steam Turbin Generator Efficiency	%	21.5%	21.4%
6	Design STG Efficiency	%	22.1%	22.1%
7	Gap (Design - Aktual)	%	0.6%	0.7%
8	% Gap (derating performa)	%	2.5%	3.3%

Secara keseluruhan, performa (efisiensi) *Steam Turbin Generator* (STG) di PLTP Patuha Unit 1 masih dalam kondisi yang baik dengan merujuk pada design masih tidak terpaut jauh/signifikan.

7.1.4 Kualitas Kelistrikan

Berdasarkan hasil pengukuran kelistrikan, menunjukkan bahwa nilai kualitas listrik pada UAT di PLTP Patuha Unit 1, pada umumnya masih baik, nilai *unbalance* tegangan masih dalam nilai batas yang direkomendasikan.

(1) Kemandalan Suplai daya

Pada saat dilakukan Audit pada rentang 22-25 Maret 2021, dari data *recording DCS* yang di *download* datanya, tidak terjadi *trip* atau listrik terputus. Hal ini menunjukkan bahwa kontinuitas suplai daya sudah baik atau suplai dari PLTP dapat dikatakan handal.

(2) Daya Aktif (MW)

Dari data DCS pada saat dilakukan survey/audit energi (periode 22-25 Maret 2021), tercatat bahwa beban maksimal listrik dari pemakaian sendiri adalah sebesar 2,7 MW dengan tegangan 6,3 kV.

(3) Faktor Daya (*Cos phi*)

Faktor daya (*cos phi*) adalah beban yang berjenis reaktif yang timbul akibat adanya beban-beban induktif. Dampak negatif dari beban induktif akan menyebabkan nilai *cos phi* turun.

Standar untuk nilai *cos phi* yang disyaratkan oleh PLN adalah minimum 0.85.

Namun demikian untuk mengejar target kualitas kelistrikan yang baik, sebaiknya nilai *cos phi* adalah 0,9. Apabila nilai *cos phi* dibawah 0,85 akan menyebabkan kebutuhan kapasitas terpasang menjadi naik hal ini disebabkan oleh kenaikan nilai daya reaktif.

Dari pengukuran yang dilakukan diketahui bahwa *cosphi* yang diperoleh dari pengukuran di tegangan MV dan di LV MCC-1 diperoleh nilai *cosphi* sebesar 0,87, sedangkan pengukuran di LV MCC-2 nilai *cosphi* masih relatif rendah, dengan nilai rata-rata sebesar 0,71 (nilai *cosphi* dibawah nilai yang dipersyaratkan PLN ; 0,85).

(4) *Unbalance* Tegangan.

Unbalance Voltage (ketidakseimbangan tegangan) pada sistim kelistrikan umumnya disebabkan karena tidak seimbangannya pembebanan pada masing-masing *phasa* R-S-T sehingga mengakibatkan gangguan operasional pada sebuah motor dan juga bisa

menimbulkan penurunan kemampuan/performa (*derating*) sebuah motor.

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai *Unbalance* Tegangan pada semua *feeder* yang diukur masih baik, rata-rata terukur masih dibawah standar yang dipersyaratkan (1% - NEMA).

(5) *Unbalance* Arus.

Untuk melihat kualitas pembagian beban arus dan ukuran *safety* distribusi kelistrikan merujuk pada standar ANSI C 84. 1-1995 yang menyebutkan bahwasannya *unbalance* arus yang terjadi di sistem distribusi tidak boleh melebihi 20 %.

Berdasarkan hasil pengukuran nilai *Unbalance* Arus pada semua *feeder* yang diukur rata-rata terukur masih dibawah standar yang dipersyaratkan.

(6) THD Tegangan dan THD arus.

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap nilai harmonik (THD tegangan dan THD arus) pada semua *feeder* yang diukur, di peroleh nilai THD-V (Tegangan) rata-rata dan Nilai THD-I (Arus) rata-rata masih dibawah standar yang dipersyaratkan, dimana nilai THD tegangan berada di bawah 5%, dan nilai THD Arus berada dibawah 15%. Artinya kualitas daya sisi tegangan dan Arus sudah baik.

7.1.5 Kinerja Peralatan Utama Pengguna Energi

(1) *Hot Well Pump*

Berikut hasil simulasi evaluasi kinerja energi HWP A/B di PLTP Patuha Unit 1:

No.	Parameter Operasi HWP	Satuan	Nilai pada Kondisi	
			Malam	Siang
1	Flowrate	ton/h	4304	4304
2	Temp. suction	oC	45.9	47.9
3	Press. Suction	mbar.A	115.1	122.1
4	Press. Discharge	bar.G	2.81	2.81
5	Power Motor	kW	507	506
6	Efisiensi	%	66.9%	66.5%
	Design Eff. Pompa HWP	%	75.8%	75.8%
7	Gap. Eficiency	%	8.9%	9.3%
8	Potensi penurunan listrik motor	kW	59.55	61.87
	% Potensi Saving Daya	%	11.7%	12.2%
9	Load terhadap Kapasitas Pompa	%	81%	81%
10	Load terhadap Rating Motor	%	92%	92%

Performa (efisiensi) pompa HWP sudah sedikit derating dari desainnya (Design sebesar 75.8%), sehingga ada potensi penurunan konsumsi energy motor listrik HWP yaitu 10% - 12% atau penurunan daya sebesar 60 kW per motor HWP A/B.

(2) *Cooling Tower*

Berikut hasil simulasi evaluasi kinerja *cooling tower* di PLTP Patuha Unit 1:

Secara umum kondisi efesiensi (efektifitas) *Cooling Tower* di PLTP Patuha Unit 1 masih dalam kondisi baik (wajar), terutama saat kondisi siang hari karena sudah masuk dalam daerah antara 70% – 80% untuk efektifitas *Cooling tower* yang baik.

Akan tetapi, dapat disimpulkan bahwa kondisi CT pada Malam hari memiliki kapasitas pendinginan lebih rendah, sehingga memerlukan *power* motor

(*fan*) lebih rendah juga dibandingkan kondisi siang hari.

RESUME PERFORMANCE CT PLTP PATUHA Unit 1
Data Survey : 22 - 24 Maret 2021

Parameter	Unit	Malam	Siang
T hot (enter CT)	°C	45.9	47.9
T cold (to condenser)	°C	23.4	24.4
T dry bulb	°C	16.0	18.4
T wet bulb	°C	14.3	16.7
%humidity (RH)	%	92.6	80.6
Range	°C	22.5	23.5
Approach	°C	9.2	7.7
Circulation water rate	m ³ /h	8595.4	8608.0
Evaporation rate	m ³ /h	295.4	309.3
% of Evaporation	%	3.4%	3.6%
Blowdown rate	m ³ /h	275	288
Make up water flow	m ³ /h	571	598
COC (Cycle of Concentration)		2.07	2.07
Tower Effectiveness		71.0%	75.2%
Design :		81.0%	81.0%
L/G rasio		1.0	0.9
Heat evaporation rate	kCal/h	193,071,319	202,124,450
Holding capacity	m ³	2133	2133
Holding Index (HTI)		5.4	5.1
Air flow rate	Nm ³ /h	2,902,872	3,443,188
Power fan needed (teoritik)	kW	415	492
Power fan aktual consumption	kW	728	728
Fan Efficiency	kW	57%	68%
Power pump aktual consumption	kW	1013	1013
Performa Index	kW/TR	0.027	0.026

(3) LRVP

1. *Load* operasi pompa sudah mencapai kondisi batas maksimum operasi, yaitu dengan *load* 97% dari kapasitas *rating*, artinya pompa LRVP sudah dioperasikan dengan maksimal;
2. Konsumsi listrik sudah cukup baik dengan *load* sekitar 80% dari *rating* design motor, artinya masih dalam batas aman operasi (80 – 90% *load* untuk batas aman operasi *load* motor);
3. Performa (efisiensi) pompa LRVP sudah baik dengan nilai sesuai design, yaitu 48.7% (design sekitar 45 – 50%). Sehingga monitoring dan

perawatan pompa LRVP kedepan perlu dipertahankan agar performa LRVP tidak mengalami de-rating yang signifikan.

(4) Pompa Reinjeksi Kondensat

1. Pompa Re-injeksi Kondensat Konsumsi listrik masih tinggi (59%) dengan *load* pemompaan hanya 37%
2. Performa (efisiensi) pompa Reinjeksi ini sudah mengalami *derating* dari desainnya (Design = 61.5%), sehingga *Gap* efisiensi dan potensi penurunan motor listrik Pompa Reinjeksi yaitu 23.5% dan potensi *saving* daya sebesar 15.5 kW yang beroperasi kontinyu.

(5) Kompresor Udara

Ada 2 sistem *demand air compressed*: Instrument air (IA) dan *Service Air* (SA). Tekanan antara IA dan SA sangat jauh. IA memiliki tekanan 7.52 barG dan SA memiliki tekana 1,49 barG. Akan tetapi kedua sistem tersebut disuplai oleh 2 unit kompresor dengan sistem 1 tekanan, yaitu sekitar 7.5 barG *output compressor* sehingga merupakan potensi kehilangan energi (pemborosan).

(6) Pompa *Raw Water Intake* dan *Booster* Cipaku

Performa (efisiensi) pompa *Raw Water Intake* ini rendah masih rendah (30.9%) karena faktor motor yang terpasang *oversize*.

Sedangkan efisiensi pompa *Booster* sudah baik (sesuai dengan desainnya sebesar 63,25%) dan design pompa juga sudah tepat (size motor sesuai dengan pompa).

7.1.6 Kinerja Peralatan Penunjang (Bangunan Kantor)

1. Profil energi gedung kantor basecamp PLTP Patuha menggunakan daya sebesar 6.08 kW dan distribusikan untuk tata cahaya sebesar 15% (0.913 kW) dan 85% (5.16 kW) daya digunakan pada colokan (*receptacle*) untuk daya komputer, dan peralatan pendukung kantor. Energi yang terukur adalah 75.39 kWh/hari (1,930.03 kWh/bulan; 23,160.42 kWh/tahun).
2. Indek efisiensi gedung kantor *basecamp* PLTP Patuha adalah, 7.11 kWh/m²/bulan dan dengan nilai indeks tersebut termasuk kedalam gedung perkantoran cukup efisien (permen ESDM no. 14 tahun 2012 untuk kriteria gedung perkantoran tanpa AC).
3. Meskipun tergolong pada gedung perkantoran yang cukup efisien penggunaan energinya namun ada beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan antara lain:
 - Kualitas pencahayaan di ruangan-ruangan harus diperbaiki;
 - Monitoring sistem kelistrikan secara berkala yang salah satunya memperhatikan aspek dalam pembagian beban di phase R-S-T;
 - Memasang kWh-meter di panel *incoming* gedung kantor *basecamp* untuk memudahkan pencatatan energi listrik secara periodik (harian, bulanan, tahunan).

7.2 Rekomendasi

Rekomendasi penghematan energi dan biaya yang bisa dilakukan oleh PLTP Patuha Unit-1 adalah seperti yang disajikan pada tabel 7.1 – tabel 7.4.

Tabel 7.1 Rekomendasi Penghematan Energi dan Biaya di PLTP Patuha Unit-1 Hasil Audit Energi 2021
Significant Energy Uses

No	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi/ Cost (Rp)	Payback Period	Costing Category (Investasi)
		Energi (kWh/bln)	Biaya (Rp./bln)			
A. PENGGUNA ENERGI di FASILITAS UTAMA (PEMBANGKITAN)						
1.	Pemasangan VSD pada Fan CT (pada 2 unit motor fan) *)	21.600	24.078.384	1.170.000.000	48 bulan	High Cost – Prior 1
2.	Pemasangan VSD pada Hot Well Pump (HWP) *)	43.200	48.156.768	1.440.000.000	30 bulan	High Cost – Prior 1
3.	Pemasangan VSD pada Motor Re-injeksi Pump	11.160	12.440.498	212.400.000	17 bulan	Low Cost – Prior 2
4.	Pemasangan unit SA Compressor	15.940	17.769.847	375.000.000	21,1 bulan	Low Cost – Prior 2
5.	Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor	2.592	2.889.406	100.000.000	34,5 bulan	Low Cost – Prior 2
6.	Penggantian Motor Unit pada Pompa Raw Water Intake di Cipaku	207	91.727	7.000.000	76,3bulan	Low Cost – Prior 2
7.	Pemasangan Mikrohidro di Sungai Cipaku untuk penerangan (lampu/lighting dan PJU) *)	2.172	2.419.534	301.657.500	10.4 tahun	High Cost – Prior 2
*) perlu dilakukan kajian selanjutnya (FS DED) sebelum dilakukan implementasi lebih lanjut oleh PLTP Patuha						

Tabel 7.2 Rekomendasi Penghematan Energi dan Biaya di PLTP Patuha Unit-1
Fasilitas Penunjang

No.	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi (Rp)	Payback Period (Tahun)	Costing Category
		Energi (kWh/bin)	Biaya (Rp./bln)			
B. PENGGUNA ENERGI di FASILITAS PENUNJANG (BANGUNAN KANTOR)						
1.	Pemasangan sistem metering (kWh meter) di Panel Incoming Gedung *) *) <i>Sistem monitoring (Sistem penunjang data & informasi)</i>	-	-	20.000.000	-	Medium cost.
2.	Monitoring (house keeping) Sistem Distribusi dan Kualitas Kelistrikan Gedung Kantor *) *) <i>Dimasukan kedalam sistem kerja PAM (Predictive Maintenance)</i>	-	-	-	-	No cost.
3.	Perbaikan Kualitas Penerangan (Kuat Pencahayaannya) di Ruang-Ruangan *) *) <i>Masuk dalam biaya operasi dan perawatan</i>	-	-	54.686.000		Medium cost.
4.	Pemasangan PLTS Rooftop On Grid di gedung Kantor Admin PLTP Patuha **)	1303,3	1.955.000	318.150.000	> 12	High cost
5.	Melakukan capacity building personel pengelola energi di PLTP Patuha sebagai implementasi "Budaya Hemat Energi" di Perusahaan	-	-	50.000.000	-	Low Cost

No.	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi (Rp)	Payback Period (Tahun)	Costing Category
		Energi (kWh/bln)	Biaya (Rp./bln)			
6.	Mengimplementasi aplikasi "smart building" di kantor gedung admin PLTP Patuha dengan memasang: a. Motion sensor (sensor gerak) b. Remote saklar ruangan kerja staf c. Saklar terpusat gedung admin atas	108,54 ^{*)}	151.900	5.875.000 5.850.000 9.950.000 21.675.000	11,8	Low Cost Low Cost Low Cost
7.	Pemasangan PLTS Battery (Terpusat dan Synchronize dengan Grid) di Lokasi Sumur untuk suplai daya PJU di area sumur ^{*)}	6.782	10.173.000	1.241.250.000	10,7 tahun	High Cost
	*) 10% daya penerangan di gedung **) perlu dilakukan kajian selanjutnya (FS DED) sebelum dilakukan implementasi lebih lanjut.					

Tabel 7.3 Rekomendasi Penghematan Energi dan Biaya di PLTP Patuha Unit-1 Hasil Audit Energi Tahun 2021
Biaya Investasi dan Penghematan

No.	Rekomendasi Penghematan	Potensi Penghematan		Biaya Investasi (Rp)	Payback Period (Tahun)	Costing Category
		Energi Listrik (kWh/b ln)	Biaya (Rp/b ln)			
C. TOTAL PENGHEMATAN & INVESTASI						
1.	Penghematan Energi/Biaya dan Investasi di Pengguna Utama (Pembangkit)	96.871	107.846.164	3.606.057.500		No Cost - High Cost
2.	Penghematan Energi/Biaya dan Investasi di Bangunan (Penunjang & Domestik)	8.085	12.279.950	1.631.075.000		No Cost - High Cost
3.	Total Penghematan per Tahun & Investasi	1.259.472 kWh/ tahun	1.441.513.440 per tahun	5.237.132.500		No Cost - High Cost
D. TOTAL PENGGUNAAN DAN BIAYA ENERGI SERTA PROSENTASI PENGHEMATAN						
1.	Total Penggunaan Energi tahun 2020 di PLTP Patuha Unit- 1	Rincian Konsumsi & Biaya Energi: Total Konsumsi Energi = 23.976.085 kWh/tahun Total Biaya Energi = Rp. 26.709.358.690,- /tahun (asumsi TDL Rp. 1114/ kWh)				
2.	% Penghematan Biaya per Tahun dari Audit Energi Thn 2021 di PLTP Patuha Unit 1	= Total Penghematan Biaya / Total Biaya Energi = Rp. 1.441.513.440 / Rp. 26.709.358.690 atau 5,40 % (penghematan biaya energi)				

Program rencana aksi penghematan yang disarankan untuk diimplementasi berdasarkan rekomendasi yang telah diberikan dalam tabel rekomendasi penghematan diatas (dalam 5 tahun kedepan) adalah:

Tabel 7.4. Rencana Aksi dan Alokasi Anggaran PPE

No	Rekomendasi Penghematan	Rencana Aksi Implementasi & Alokasi Anggaran				
		2021	2022	2023	2024	2025
1	Pemasangan VSD pada Fan CT (pada 2 unit motor fan)	5%	5%	30%	40%	20%
2	Pemasangan VSD pada Hot Well Pump (HWP)	5%	5%	30%	40%	20%
3	Pemasangan VSD pada Motor Re-injeksi Pump	5%	75%	20%		
4	Pemasangan Unit SA (<i>Service Air</i>) Compressor	5%	75%	20%		
5	Pencegahan Kebocoran Udara Tekan pada Kompresor	5%	95%			
6	Penggantian Motor Unit pada Pompa Raw Water Intake di Cipaku	5%	95%			
7	Pemasangan Mikrohidro di Sungai Cipaku untuk penerangan (PJU)	5%	5%	60%	30%	
8	Pemasangan sistem metering (kWh meter) di Panel Incoming Gedung *) <i>*) Sistem monitoring (Sistem penunjang data & informasi)</i>	50%	50%			
9	Monitoring (<i>house keeping</i>) Sistem Distribusi dan Kualitas Kelistrikan Gedung Kantor *) <i>*) Dimasukan kedalam sistem kerja PdM (Predictive Maintenance)</i>	No Cost	No Cost	No Cost	No Cost	No Cost
10	Perbaikan Kualitas Penerangan (Kuat Pencahayaan) di ruanga *) <i>*) Masuk dalam biaya operasi dan perawatan</i>	20%	40%	40%		
11	Pemasangan PLTS Rooftop On Grid di gedung Kantor Admin PLTP Patuha	5%	5%	60%	30%	

No	Rekomendasi Penghematan	Rencana Aksi Implementasi & Alokasi Anggaran				
		2021	2022	2023	2024	2025
12	Melakukan <i>capacity building</i> personel pengelola energi di PLTP Patuha sebagai implementasi "Budaya Hemat Energi" di Perusahaan	30%		35%		35%
13	Mengimplementasi aplikasi " <i>smart building</i> " di kantor gedung admin PLTP Patuha dengan memasang: a. Motion sensor (sensor gerak) b. Remote saklar ruangan kerja staf c. Saklar terpusat gedung admin atas	30%	35%	35%		
14	Pemasangan PLTS Battery (Terpusat dan <i>Synchronize</i> dengan <i>Grid</i>) di Lokasi Sumur untuk suplai daya PJU di area sumur	20%	20%	20%	20%	20%

Daftar Pustaka

- [1] ASME, *Steam Turbines: Performance Test Code*, PTC-6, 2004
- [2] ASEAN-USAID. *Building Energy Conservation Project*. ASEAN Lawrence Berkeley Laboratory, United States. 1992
- [3] Albert Thumann, Terry Niehus, and William J. Younger. *Energy auditing-Handbooks, manuals, etc.* 9th ed. ISBN 0-88173 -686-4. TJ163.245.T48. 2012
- [4] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2012. *Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi*. Jakarta: BPPT. ISBN 978-979-3733-57-9.
- [5] Dugan, R., McGranaghan, M., Santoso, S., and Beaty, H.W. ANSI C84.1-2006. *Electrical Power Systems Quality* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill. 2006
- [6] ESDM, *Peraturan Menteri ESDM no 14 Tentang Manajemen Energi*. p.02, 2012
- [7] ESDM, *Peraturan Menteri ESDM no 13 Tentang Penghematan pemakaian tenaga listrik pada bangunan pemerintah*. p.02, 2012
- [8] IEEE Std 519™-2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY 10016-5997.USA. 2014
- [9] Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald. *Pump Handbook-Third edition*. New York San Francisco Washington, D.C. ISBN 0-07-034032-3. 2001
- [10] ISO 50002-2014, *Energy audits - Requirements with guidance for use*. ICS : 27.015 Energy efficiency. Energy conservation in general. 2014
- [11] ISO 50006: 2014, *Energy management systems — Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) — General principles and guidance*. ICS : 03.100.70 Management Systems 27.015 Energy Efficiency. 2014

- [12] ISO 50001:2011, *Energy management systems - Requirements with guidance for use*. ICS : 27.015 *Energy efficiency. Energy conservation in general 03.100.70 Management systems*. 2011
- [13] ISO 10816-3:2009, *Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts. Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*. 2009
- [14] ISO 10816-7:2009, *Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts*. 2009
- [15] ISO 50002-2014, *Energy audits - Requirements with guidance for use*. ICS : 27.015 *Energy efficiency. Energy conservation in general*. 2014
- [16] Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Peraturan Presiden Nomor 22 tahun 2017 *tentang Rencana Umum Energi Nasional*, diakses dari esdm.go.id
- [17] John O. Rawlings, Sastry G. Pentula, David A. Dickey. *Applied regression analysis: a research tool*. — 2nd ed. Springer-Verlag New York, Inc. 1998
- [18] Michael Baechler, Cindy Strecker, PE and Jennifer Shafer, *A Guide to Energy Audits, US Departement of Energy, PNNL-20956*. 2011
- [19] NEMA (*National Equipment Manufacturer's Association*). *Motors and Generators, ANSI/NEMA Standard MG1-1993*
- [20] Parlindungan Marpaung, Titovianto Widyantoro, Setiawan Tarigan, Eva Pitteriing. *Modul manejer energi di industri dan gedung, ESP3 - Danida, 2016*
- [21] SNI 6196:2011. *Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [22] SNI 6197:2011. *Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan*, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- [23] SNI 6390:2000. Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- [24] SNI 6389:2011. Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [25] SNI 6575:2001. Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- [26] Turner, Wayne C. *Energy management handbook* - 4th ed. ISBN 0-88173-361-x. TJ163.2.T87 2001
- [27] Zaki Siregar, 2018, *Energy Performance Indicator (EnPI) Dalam Sistem Manajemen Energi ISO-50001* - <https://environment-indonesia.com/energy-performance-indicator-enpi-dalam-sistem-manajemen-energi-iso-50001/>
- [28] Yurisman, Edy. Optimasi sistem penggunaan monitoring energi pada Terminal Bahan Bakar (TBBM), Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia, 2021

Daftar Lampiran

Lampiran 1 - *Raw Data Pengukuran Listrik (Soft File)*

Lampiran 2 - *Calculation Sheet Evaluasi Performa Peralatan Utama (Soft File)*

Lampiran 3 – *Simulasi PV Syst Perancangan PLTS (Soft File pdf)*



PT Geo Dipa Energi (Persero)

ISBN : 978-623-93137-7-7

