

Berkas Pengajaran Mata Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik Klas K

1. Surat Penugasan Tenaga Pendidik No : 108/03.1-G/III/2023
2. Materi Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik
3. BAP
4. Nilai
5. Absen Kehadiran



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866955, hp: 081291030024
Email : humas@istn.ac.id Website : www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK

Nomor 108 / 03.1 - G / III / 2023

SEMESTER **GENAP**, TAHUN AKADEMIK 2022/ 2023

Nama	POEDJI OETOMO . ST . MT	Status Pegawai	Edukatif Tetap			
NIK	22970003	Program Studi	Teknik Elektro			
Jabatan Akademik	Asisten Ahli					
Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam/ Minggu	Kinerja (sks)	Keterangan	
I PENDIDIKAN Dan PENGAJARAN	MENGAJAR DI KELAS (KULIAH / RESPONSI DAN LABORATORIUM)					
	1. Pengukuran Besaran Listrik (Kls A)	C-6		2	Senin, 13.00-14.40	
	2. Elektronika Daya (Kls A)	C-2		2	Kamis, 08.00-09.40	
	3. Analisa Sistem Tenaga (Kls K)	C-5		2	Sabtu, 08.00-09.40	
	4. Pengukuran Besaran Listrik (Kls K)	C-4		2	Rabu, 19.00-20.40	
	5. Elektronika Daya (Kls K)	C-6		2	Sabtu, 13.00-14.40	
	6.					
	7.					
	8.					
	9.					
	10.					
	11.					
	12.					
	13.					
	14.					
	15.					
	16.					
	17. Membimbing Skripsi / Tugas Akhir				1	
18. Menguji Skripsi / Tugas Akhir				1		
II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah					
	2. Penulisan Karya Ilmiah					
	3. Penulisan Diktat Kuliah					
	4. Menerjemahkan Buku					
	5. Pembuatan Rancangan Teknologi					
	6. Pembuatan Rancangan & Karya Pertunjukan					
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Menduduki Jabatan di Pemerintahan					
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan Dan Penelitian					
	3. Memberikan Penyuluhan/Pelatihan/Ceramah pada masyarakat				1	
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat Umum					
	5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang tidak dipublikasikan					
	6. Komersial / Kesepakatan					
IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG	1. Jabatan Struktural					
	2. Penasehat Akademik			1		
	3. Berperan serta aktif dalam pertemuan ilmiah / seminar					
	4. Pengembangan program kuliah / Kelompok Ilmu Elektro					
	5. Menjadi anggota panitia / Badan pada suatu Perguruan Tinggi					
	6. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah					
	7. Menjadi Anggota Organisasi Profesi					
	8. Mewakili PT / Lembaga Pemerintah duduk dalam Panitia antar Lembaga					
	9. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Parlemen - Parlemen Internasional					
Jumlah Total				14		

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji / honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional
Penugasan ini berlaku dari tanggal **20 Maret 2023** sampai dengan tanggal **31 Agustus 2023**.

Jakarta, 23 Maret 2023
e a n,
Dr. Mustirah Cahya F.T.S.Si., M.Si.



Tembusan :

1. Direktur Akademik - ISTN
2. Direktur Non Akademik - ISTN
3. Ka Biro Sumber Daya Manusia - ISTN
4. Kepala Program Studi Fak.
5. Arsip

Energi Yang Tersedia dan Energi Listrik

- * Energi tersedia di alam dalam berbagai bentuk, dan manusia mengubahnya ke dalam bentuk energi listrik untuk memenuhi kebutuhannya. Perubahan atau konversi ini memberikan keuntungan namun konversi tersebut juga memerlukan biaya yang tidak kecil.



Berbagai bentuk energi yang mungkin dikonversikan ke dalam energi listrik:

- * Energi radiasi (sinar matahari).
- * Energi panas bumi.
- * Energi kimia (batubara, minyak bumi).
- * Energi kinetik gelombang laut.
- * Energi kinetik arus laut.
- * Energi potensial air terjun.
- * Energi nuklir.



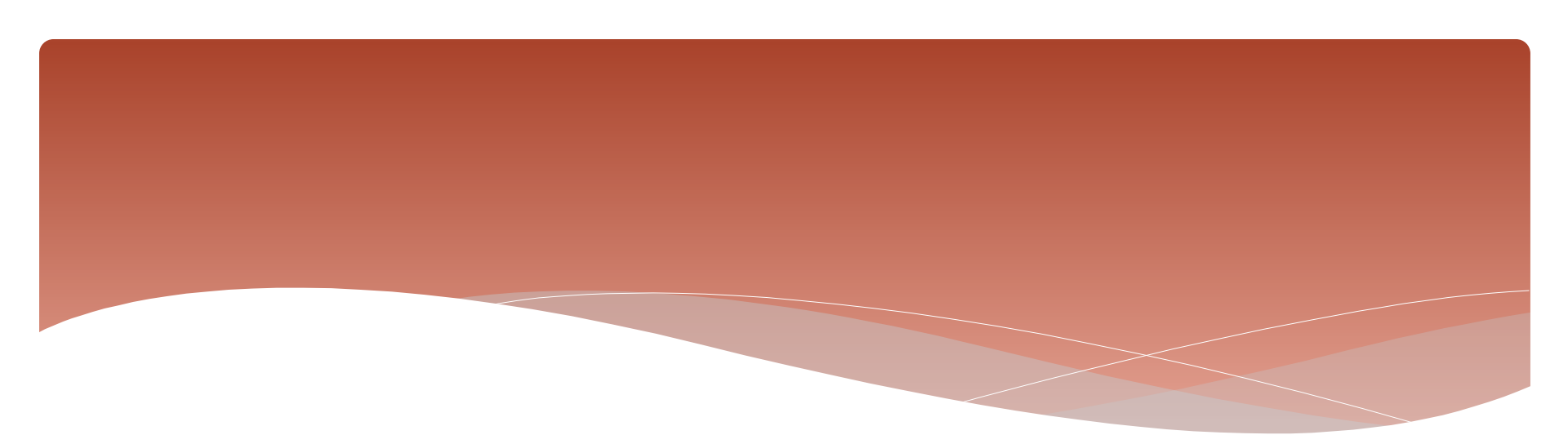
Bentuk energi listrik memberikan beberapa keuntungan:

Lebih mudah diatur/dikendalikan.

Dapat ditransmisikan dengan kecepatan cahaya.

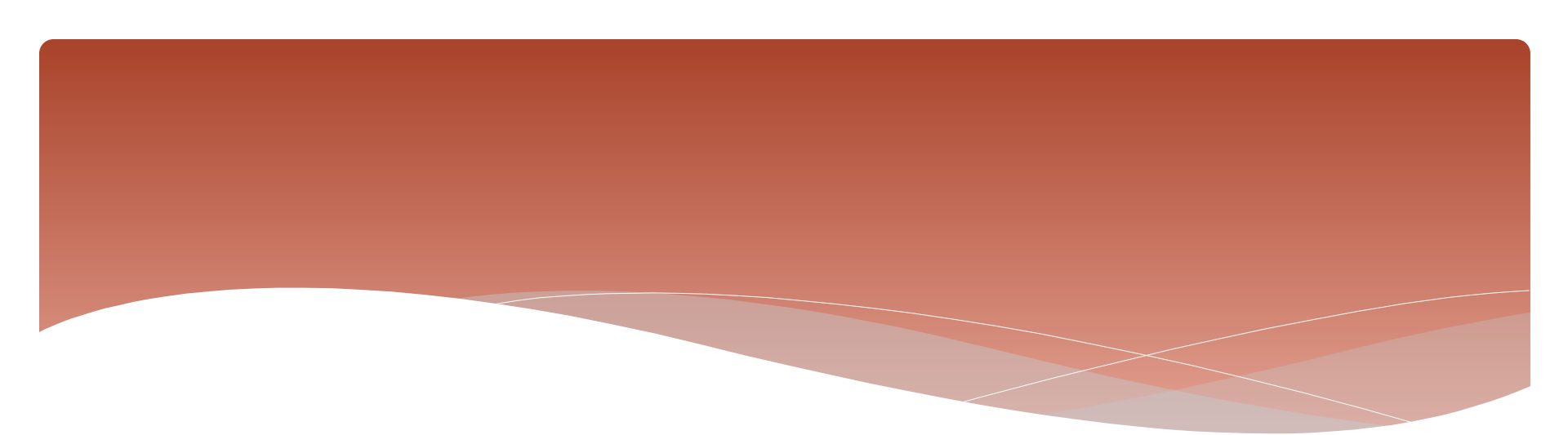
Dapat dikonversikan ke bentuk energi lain dengan efisiensi tinggi.

Bebas polusi, walaupun dalam konversinya dari bentuk aslinya menimbulkan juga masalah polusi.



Konversi ke bentuk lain biasanya mudah dan sederhana. Kelemahan energi listrik terutama adalah bahwa proses penyediaannya memerlukan pendanaan cukup besar. Kita sadari bahwa sistem tenaga listrik adalah besar baik dilihat dari ukurannya, investasinya, jumlah energi yang dikelola, besaran fisisnya (tegangan, arus) sampai kepada piranti-pirantinya. Oleh karena itu pembangunan sistem biasanya dilakukan tidak selalu dari nol melainkan mengembangkan sistem yang sudah ada; kebutuhan energi listrik yang terus tumbuh, memaksa sistem tenaga listrik selalu di-modifikasi dengan mengambil manfaat dari perkembangan teknologi yang terjadi.

Dalam Tinjauan Sistem Tenaga Listrik ini, kita banyak menoleh ke PLN. Energi listrik diperkenalkan pertama kali di Indonesia pada tahun 1897 (masih zaman penjajahan) dengan didirikannya perusahaan listrik pertama yang bernama *Nederlandsche Indische Electriciteit Maatschappij* (NIEM) di Batavia (sekarang Jakarta) dengan kantor pusat di Gambir. Dua belas tahun setelah itu di Surabaya didirikan *Algemeene Indische Electriciteit Maatschappij* (ANIEM) pada tahun 1909 oleh perusahaan gas NIGM [*Ensiklopedi Blora*, 2011]. Frekuensi yang digunakan pada sistem tenaga yang dibangun adalah 50 Hz, standar Eropa.



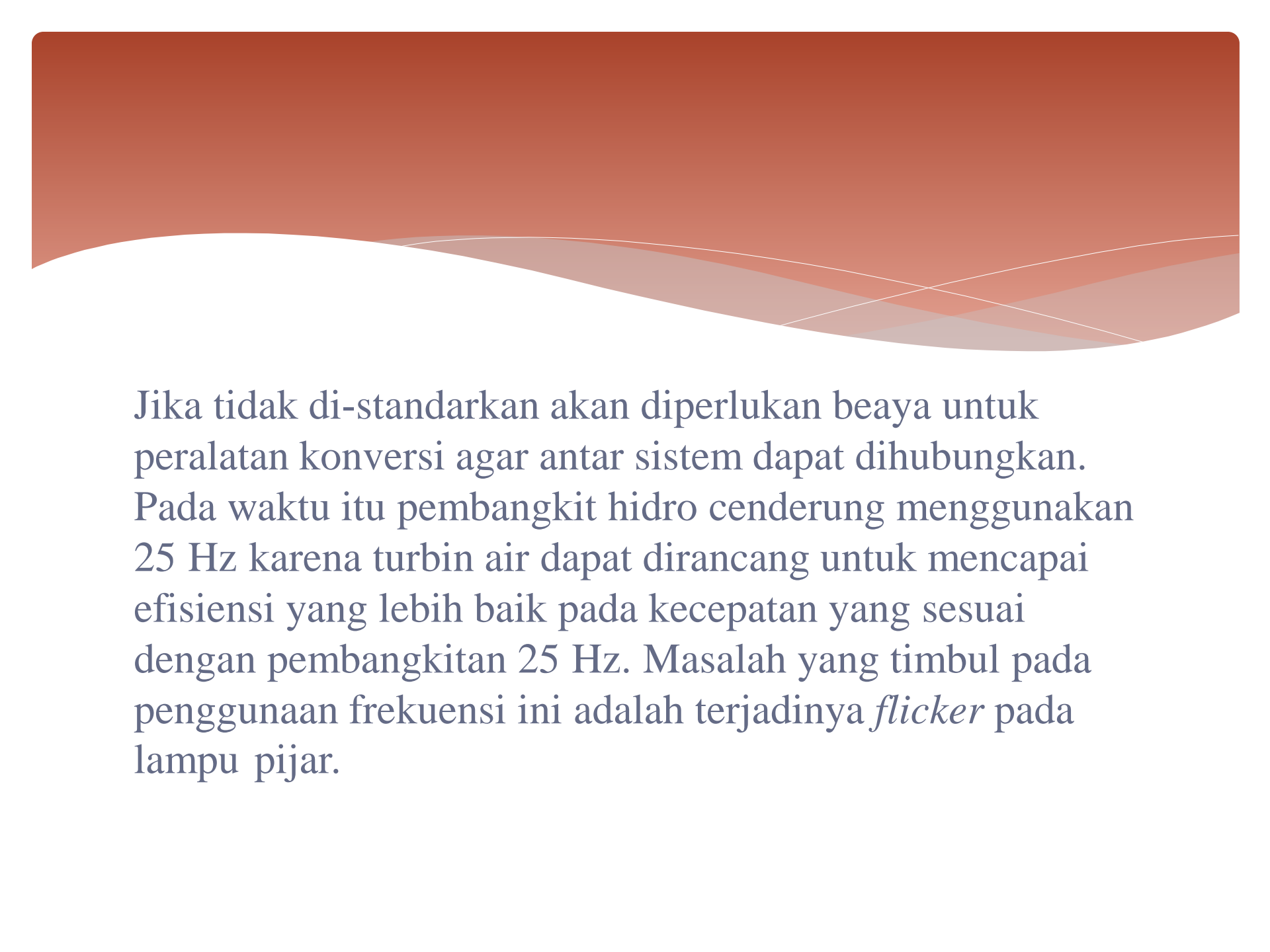
Yang menarik dalam kaitan perkembangan kelistrikan di Indonesia adalah bahwa pengenalan energi listrik di Indonesia tidaklah jauh dari perkembangan kelistrikan di Amerika. Kita baca misalnya dalam buku Charles A Gross [1] bahwa pada tahun 1890-an perusahaan *Westinghouse* baru bereksperimen dengan apa yang disebut “*alternating current*”. Persaingan berkembang antara *General Electric* dan *Westinghouse* dalam menentukan apakah *dc* atau *ac* yang sebaiknya digunakan oleh industri.



Pada akhirnya bentuk *ac* dapat diterima, antara lain oleh alasan-alasan berikut:

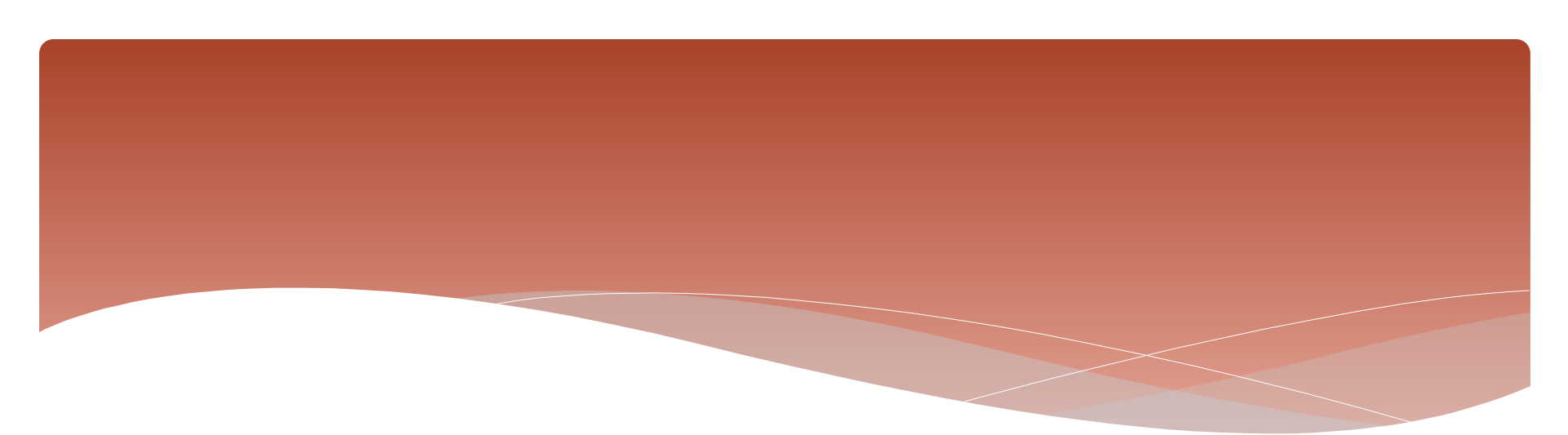
- Transformator (*ac*) memberikan kemungkinan untuk mengubah tegangan maupun arus secara mudah.
- Generator *ac* jauh lebih sederhana dibandingkan dengan generator *dc*.
- Motor-motor *ac* juga lebih sederhana dan lebih murah dari motor *dc*.

Pada sekitar 1900 masih diperdebatkan mengenai frekuensi yang harus digunakan dalam mencatu daya *ac*, apakah 25, 50, 60, 125, dan 133 Hz.



Jika tidak di-standarkan akan diperlukan biaya untuk peralatan konversi agar antar sistem dapat dihubungkan. Pada waktu itu pembangkit hidro cenderung menggunakan 25 Hz karena turbin air dapat dirancang untuk mencapai efisiensi yang lebih baik pada kecepatan yang sesuai dengan pembangkitan 25 Hz. Masalah yang timbul pada penggunaan frekuensi ini adalah terjadinya *flicker* pada lampu pijar.

- * Pada akhirnya diterimalah frekuensi 60 Hz sebagai frekuensi standar karena pada frekuensi ini *flicker* tidak lagi terasa dan turbin uap berkinerja baik pada kecepatan perputaran yang berkaitan yaitu 3600 dan 1800 rpm. Sementara itu di Eropa ditetapkan frekuensi 50 Hz sebagai frekuensi standar.



Pemanfaatan energi listrik yang pertama kali adalah untuk keperluan penerangan. Lampu listrik terus dikembangkan untuk memperoleh lumen per watt semakin tinggi. Kebutuhan energi listrik kemudian berkembang, tidak hanya untuk memenuhi keperluan penerangan tetapi juga keperluan akan energi untuk mengoperasikan berbagai alat rumah tangga, alat kantor, pabrik-pabrik, gedung-gedung, sampai ke arena hiburan. Kebutuhan yang terus meningkat tersebut memerlukan penyaluran energi dengan tegangan yang lebih tinggi. Dibuatlah transformator penaik tegangan untuk mengirimkan energi dan transformator penurun tegangan untuk disesuaikan dengan kebutuhan pengguna.

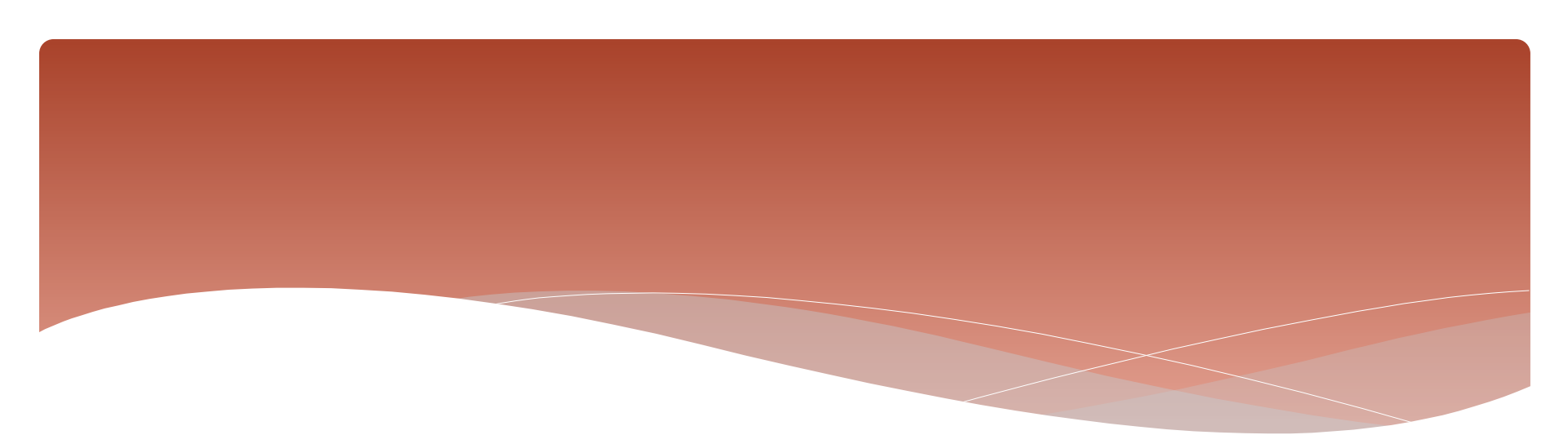
Struktur Sistem Tenaga Listrik

Agar dapat diimplementasikan, sistem ini harus aman, dapat diandalkan, ekonomis, ramah lingkungan, dan secara sosial dapat diterima. Sistem tenaga dapat dipandang terdiri dari beberapa sub- sistem, yaitu

- * Pembangkitan (*Generation*) Transmisi (*Transmission*) Subtransmission
- * Distribusi: primer, sekunder
- * Beban

Pembangkitan

Piranti utama di sub-sistem pembangkitan adalah generator yang merupakan *sumber energi* listrik. Istilah “sumber energi” di sini agaknya kurang tepat, mengingat bahwa sesungguhnya generator hanyalah *mengubah* energi non-listrik menjadi energi listrik. Generator ini, di pusat pembangkit tenaga air misalnya, digerakkan (diputar) oleh turbin air dan turbin sendiri digerakkan oleh air terjun.



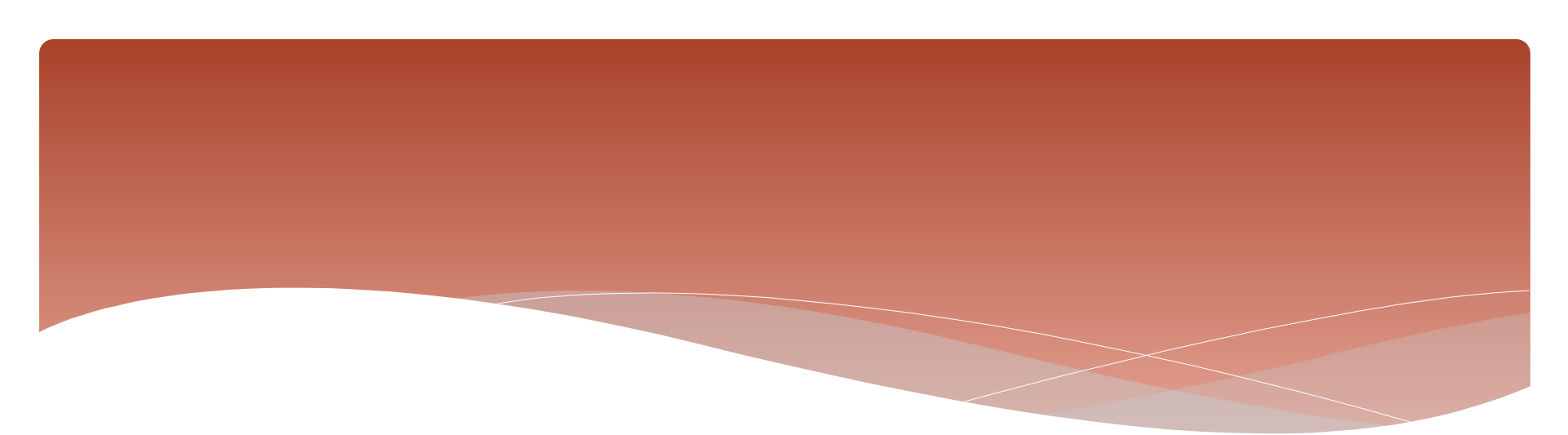
Air terjunlah yang sesungguhnya *sumber* energi. Namun demikian pembahasan kita hanya menyangkut sistem tenaga listrik, sehingga peralatan-peralatan “di depan generator” tidak kita bicarakan dan kita menganggap generator sebagai sumber energi.

Pada umumnya generator merupakan mesin berputar, yang membangkitkan daya mulai dari puluhan kW hingga lebih dari 1000 MW, dengan tegangan mulai dari 380 V sampai 25 kV. Sisi keluaran generator merupakan sistem tiga-fasa.

Transmisi

Daya listrik dari pusat pembangkit disalurkan ke berbagai tempat melalui saluran transmisi. Tegangan saluran transmisi di sistem PLN adalah 150 kV, yang disebut Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan 275 – 500 kV yang disebut Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Di Amerika digunakan tegangan mulai 115 kV sampai 765 kV.

Sesungguhnya ada dua kemungkinan pembangunan saluran transmisi yaitu *bawah tanah (underground)* dan *diatas tanah (overhead)* yang kita sebut saluran udara. Saluran udaralah yang umum digunakan. Saluran udara ini biasanya panjang sampai ratusan kilometer. Konduktor yang digunakan adalah konduktor *telanjang* (tanpa isolasi padat) sehingga ia harus didukung oleh isolator yang terpasang pada menara. Saluran ini berhubungan langsung dengan udara sekitarnya sehingga sangat terpengaruh oleh kondisi alam seperti polusi dan petir.



Jaringan transmisi harus memiliki fleksibilitas untuk menyalurkan daya besar melalui sejumlah *route*. Ia harus dirancang sedemikian rupa sehingga gagalnya sejumlah kecil saluran tidak menyebabkan kegagalan seluruh sistem. Saluran ini juga harus mampu berfungsi sebagai *penghubung* yang mampu menyalurkan energi ke kedua arah.

Piranti yang menghubungkan generator dan saluran transmisi adalah transformator, yang berfungsi untuk mengubah tegangan keluaran generator ke tegangan transmisi yang lebih tinggi.

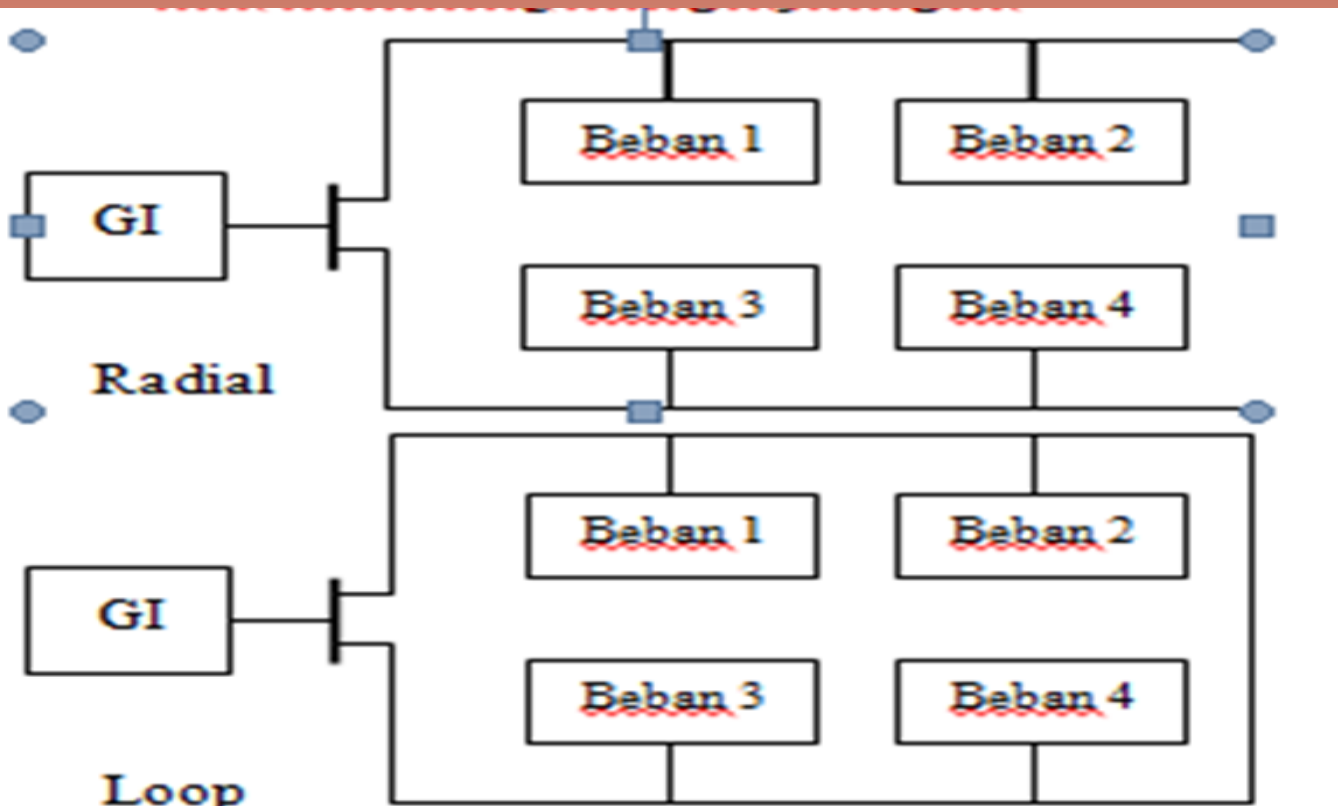
Subtransmisi

Di Indonesia (jaringan PLN), istilah “subtransmisi” tidak digunakan. Di PLN pernah digunakan saluran dengan tegangan 30 kV dan 70 kV, namun telah mulai ditinggalkan. Saluran subtransmisi biasanya tidak panjang (kurang dari beberapa puluh kilometer), kapasitas rendah (kurang dari 100 MVA) dan banyak cabang untuk mencatu pusat-pusat beban.

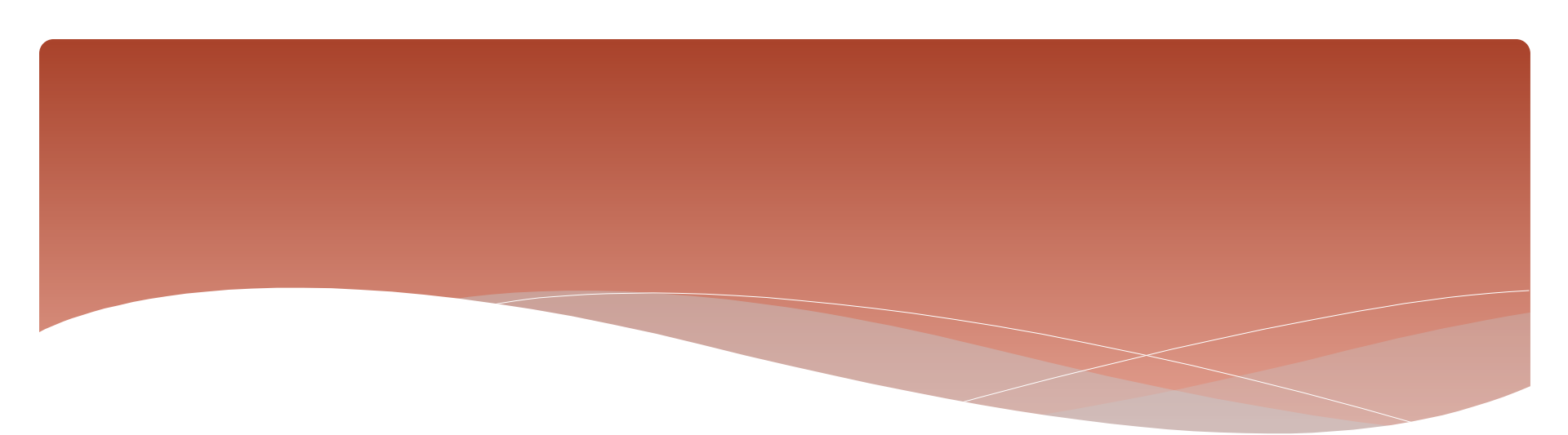
Distribusi

Saluran transmisi mencatu gardu-gardu induk, di mana tegangan diturunkan menjadi tegangan distribusi primer. Jaringan distribusi primer mencatu pelanggan tegangan menengah 20 kV. Pernah pula digunakan tegangan 6 dan 12 kV namun telah ditinggalkan.

Jaringan distribusi primer bisa dirancang sebagai jaringan *radial* ataupun *loop*.



Gb.1.1 Jaringan radial dan loop.



(lihat Gb.1.1) Pada jaringan radial daya mengalir satu arah yaitu dari sumber (gardu) ke beban (pengguna/pelanggan). Pada jaringan loop, beban dapat menerima daya lebih dari satu arah. Selain radial dan jaringan *spindle*.

Pada tahap terakhir, tegangan diturunkan lagi menjadi 380/220 V. Jaringan yang melayani pengguna pada tegangan rendah ini merupakan jaringan distribusi sekunder. Jaringan ini bisa sangat rumit, terutama di lokasi *padat pengguna*.

Beban

Beban (pengguna/pelanggan) mengambil energi listrik dari jaringan. Ada hal-hal yang harus dipenuhi dalam melayani beban ini.

1. Tegangan harus konstan, tidak naik-turun.
2. Frekuensi harus konstan.
3. Bentuk gelombang tegangan sedapat mungkin sinusoidal.

Untuk menentukan apakah ketentuan ini terpenuhi atau tidak, digunakan indeks kinerja.

1. Regulasi Tegangan: Deviasi nilai tegangan pada waktu beban berubah dalam batas-batasnya. Biasanya diambil sekitar 5%.
2. Regulasi Frekuensi: Pada keadaan normal, variasi frekuensi biasanya cukup kecil, 0.1 Hz, dan tidak terasa oleh beban.
3. Kandungan Harmonisa:

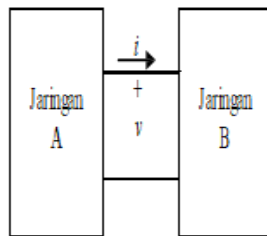
(Lihat: *Analisis Rangkaian Listrik Jilid-3*)

* Penyaluran Energi Listrik

Kita mengenal dua cara penyaluran energi listrik yaitu penyaluran menggunakan arus searah (selanjutnya kita sebut sistem arus searah, disingkat sistem AS) dan menggunakan arus bolak-balik sinusoidal (selanjutnya kita sebut sistem arus bolak-balik, disingkat sistem ABB). Berikut ini kita akan melihat perbandingan daya maksimum yang mampu disalurkan melalui beberapa konfigurasi saluran.

Daya

Perhatikan situasi penyaluran daya antar dua jaringan seperti diperlihatkan pada Gb.1.2. Hubungan antara A dan B digambarkan hanya dengan dua garis.

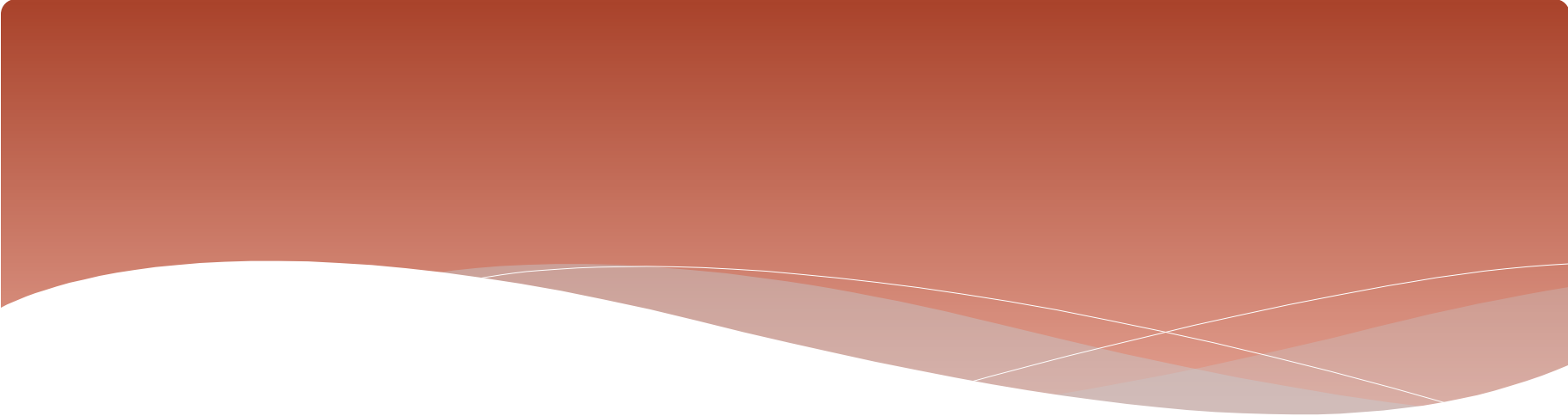


Gb.1.2. Penyaluran daya antara dua jaringan

Namun penyaluran daya dari A ke B biasanya dilakukan dengan sejumlah konduktor (2, 3, 4 konduktor) dengan susunan tertentu, yang kita sebut *konfigurasi saluran*.

Daya (laju aliran energi) dari A ke B adalah $p = vi$

p = daya, v = tegangan, i = arus (yang ditulis dengan huruf kecil untuk menunjukkan bahwa mereka merupakan fungsi waktu).



Untuk memperbesar aliran daya, v dan/atau i harus diperbesar. Akan tetapi upaya memperbesar kedua besaran ini dibatasi oleh kemampuan teknologi. Arus dibatasi oleh kemampuan hantar arus dari konduktor, sedangkan tegangan dibatasi oleh kekuatan isolasi.

Konduktor dibuat dari material yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, memiliki kekuatan mekanis yang sesuai, serta ekonomis. Untuk itu banyak digunakan *aluminum* untuk saluran transmisi, dan *tembaga* untuk saluran distribusi serta bagian- bagian tertentu sistem tenaga. *Kemampuan hantar arus* dari suatu konduktor terkait erat dengan *kerapatan arus* dan *luas penampangnya*.

$$I_{\max} = J_{\max} A \dots\dots\dots 1.2$$

I_{\max} = arus maksimum,

J_{\max} = kerapatan arus maksimum,

A = luas penampang konduktor

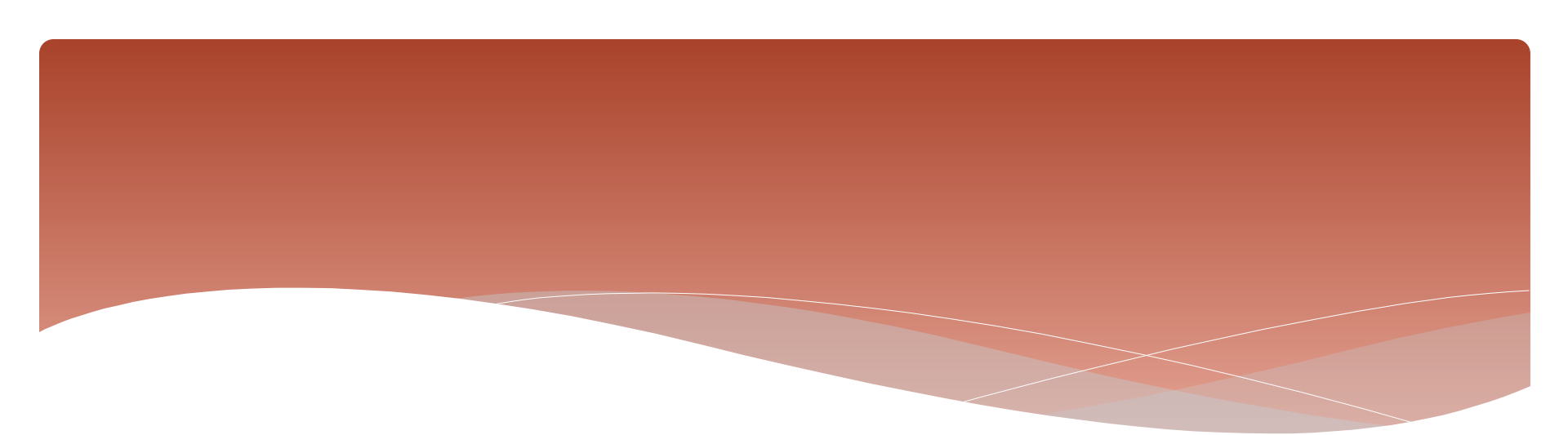
Kerapatan arus maksimum, J_{\max} , ditentukan oleh pembatasan temperatur maksimum konduktor agar tidak terjadi kerusakan konduktor serta isolasinya.

Konfigurasi Saluran

Berikut ini kita akan memperbandingkan daya maksimum yang mampu disalurkan melalui suatu konfigurasi saluran tertentu.[1]. Ada enam konfigurasi yang akan kita lihat yaitu sistem AS 2 kawat, sisten AS 3 kawat, sistem ABB 1 fasa 2 kawat, sistem ABB 2 fasa 3 kawat, dan sistem ABB 3 fasa 4 kawat.

Pada setiap konfigurasi, salah satu kawat di-tanah-kan, dan disebut kawat netral; kawat yang tidak ditanahkan disebut kawat fasa. Dalam memperbandingkan kemampuan penyaluran setiap konfigurasi ini kita tetapkan bahwa

1. Luas penampang konduktor total, yaitu total jumlah luas penampang kawat fasa dan kawat netral, adalah sama yaitu A . Karena salah satu saluran adalah saluran balik (netral) maka luas penampang konduktor yang sesungguhnya digunakan untuk *mengirim* daya adalah lebih kecil dari A .
2. Kerapatan arus yang mengalir tidak melebihi batas kerapatan arus maksimum yang di tentukan, yaitu J_0 . Pembatasan ini diperlukan karena kita akan memperbandingkan kemampuan penyaluran daya

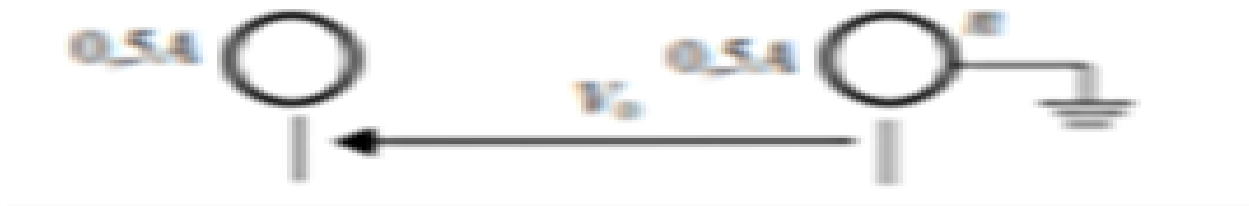


pada berbagai konfigurasi. Bukan arus yang kita tetapkan mempunyai batas maksimum karena setiap konfigurasi memiliki luas penampang konduktor kirim yang berbeda. Dengan membatasi kerapatan arus maksimum, maka setiap konfigurasi memiliki *arus* maksimum yang berbeda.

3. Tegangan setiap konduktor ke *ground* (tegangan fasa ke netral) tidak melebihi batas maksimum yang ditentukan yaitu V_0 . Tegangan antara kawat fasa dan kawat netral, berbeda antara satu konfigurasi dengan konfigurasi yang lain. Tegangan maksimum ini kita batasi untuk melihat berapakah daya yang dapat disalurkan pada tegangan *fasa-netral* maksimum dengan *kerapatan arus* yang juga maksimum.

4. Kawat netral (yang diketanahkan) merupakan saluran balik.

Konfigurasi (a) : sistem AS, 2 kawat, salah satu kawat adalah kawat netral yang merupakan saluran balik.

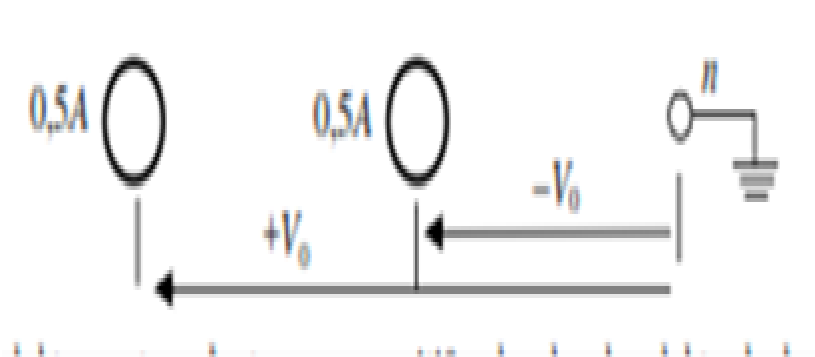


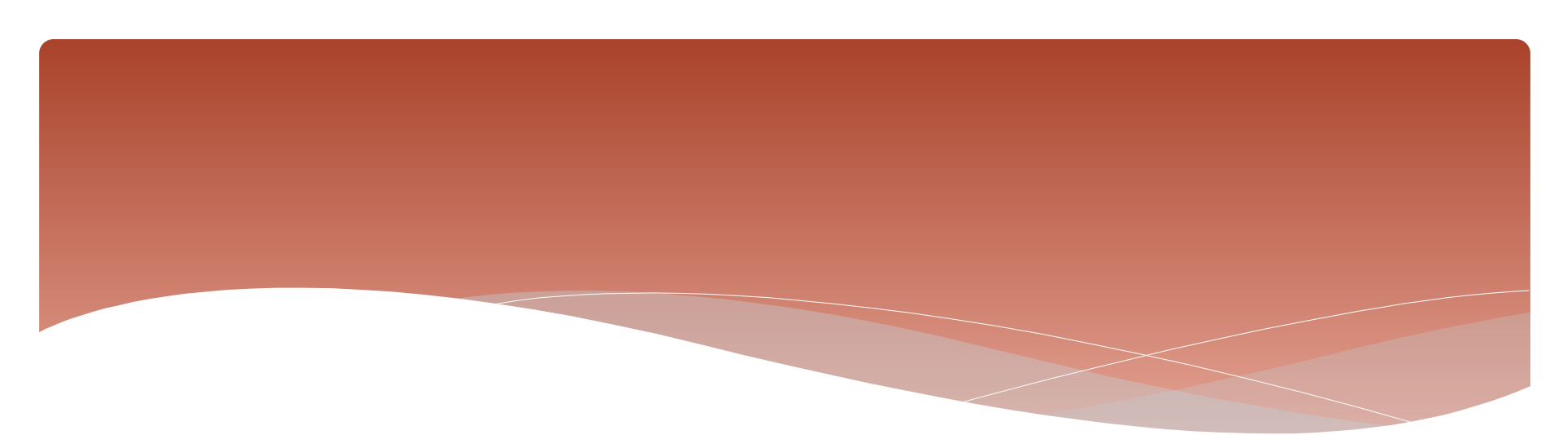
Total luas konduktor adalah A , konduktor yang ditanahkan merupakan penghantar baik. Jadi sistem ini menyalurkan daya melalui konduktor dengan luas penampang $0,5A$. Daya yang mampu disalurkan paling tinggi adalah

$$P_a = (0,5)J_0V_0 = 0,5 P_0 \text{ dengan } P_0 = A.J_0V_0 \dots\dots\dots(1.3)$$

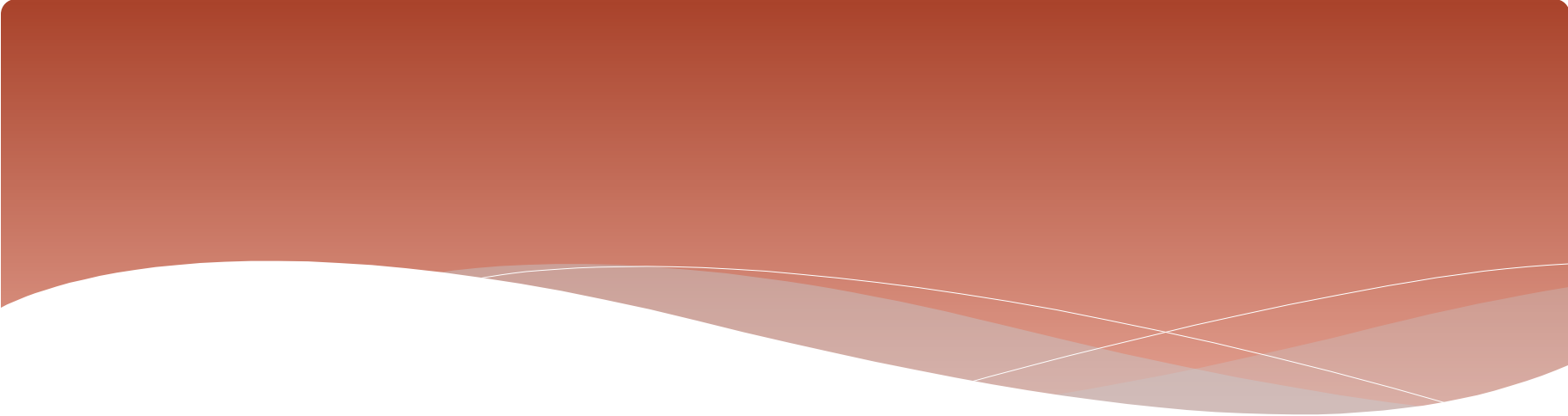
Selanjutnya kita menggunakan $P_0 = A.J_0V_0$ sebagai referensi untuk melihat kemampuan penyaluran daya pada konfigurasi yang lain: yaitu berapa kali P_a kemampuan penyaluran dayanya.

Konfigurasi (b) : sistem AS,3 kawat: dua kawat merupakan saluran kirim, satu bertegangan positif dan yang satu lagi bertegangan negatif. Kawat ketiga adalah saluran balik yang diketanahkan.





Konduktor pertama bertegangan positif sedangkan konduktor kedua bertegangan negatif, konduktor ketiga ditanahkan. Karena tegangan berlawanan arus dikonduktor pertama dan kedua juga berlawanan arah. Konduktor ketiga merupakan konduktor netral sebagai penghantar balik sehingga dikonduktor ini arus balik dari konduktor pertama dan kedua berlawanan arah; jika pembebanan seimbang kedua arus balik ini saling meniadakan.



Hal ini memungkinkan penampang konduktor netral dibuat kecil saja sehingga total penampang konduktor dapat dikatakan tetap sama dengan A. Daya maksimum yang dapat ditransmisikan adalah

Diagram segaris

Dengan mengasumsikan bahwa sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang, penyelesaian rangkaian dapat dikerjakan dengan menggunakan rangkaian 1 fasa dengan sebuah jalur netral sebagai jalan balik. Seringkali dengan diagram semacam itu disederhanakan dengan mengabaikan jalur netralnya dan menunjukkan bagian-bagian komponen dengan lambang standar sebagai ganti rangkaian ekuivalennya. Diagram sistem tenaga listrik secara sederhana ini disebut diagram satu garis (one line diagram).

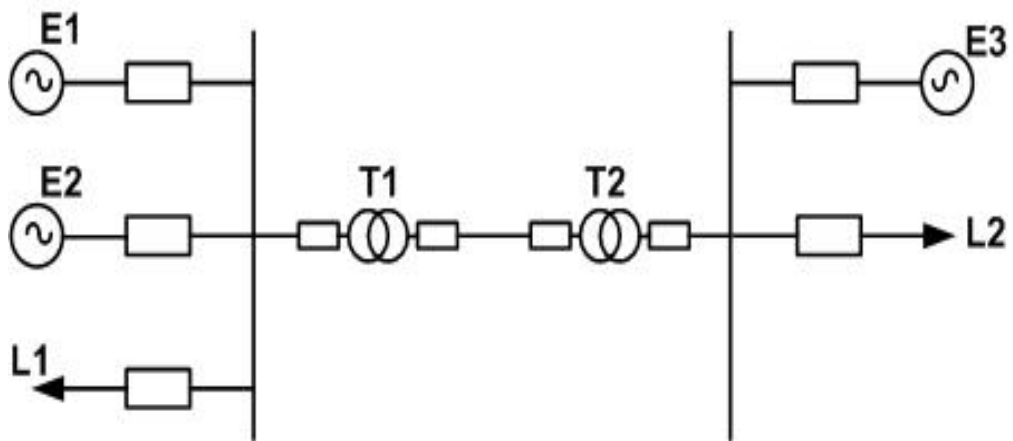
Pembuatan diagram segaris ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran yang ringkas dari suatu sistem tenaga listrik. Lambang peralatan-peralatan yang biasa digunakan untuk membuat diagram segaris dapat dilihat pada standar yang berlaku.

Keterangan mengenai beberapa sifat yang penting dari suatu sistem akan berbeda-beda, hal ini tergantung pada masalah yang akan ditinjau sesuai dengan maksud diagram tersebut dibuat. Misalnya lokasi dari pemutus rangkaian dan rele tidak penting apabila diagram tersebut digunakan untuk studi aliran daya, keterangan tentang pemutus rangkaian dan rele akan menjadi sangat penting untuk studi tentang kestabilan suatu sistem tenaga listrik dalam keadaan peralihan karena adanya gangguan. Untuk menghitung besarnya arus yang mengalir pada saat terjadi gangguan yang menyebabkan ketidakseimbangan pada sistem tiga fasa, harus diketahui letak dari titik dimana sistem tersebut dihubungkan dengan tanah.

Pada umumnya titik netral transformator pada sistem transmisi selalu ditanahkan secara langsung (*solidly grounded*). Netral generator biasanya ditanahkan melalui resistansi yang cukup tinggi atau melalui reaktansi induktif yang ditala (*tuned*) terhadap resonansi paralel dengan kapasitansi terhadap tanah yang tersebar dalam generator, kumparan transformator tegangan rendah dan dalam saluran antara generator dengan transformator.

Kumparan semacam ini disebut penetral gangguan tanah (*ground fault neutralizer*), kumparan ini juga dapat digunakan pada transformator.

Gambar 1.17, menunjukkan contoh diagram segaris suatu sistem tenaga listrik yang sederhana.



Gambar 1.17. Diagram segaris dari suatu sistem tenaga listrik

1. Diagram Impedansi dan Reaktansi

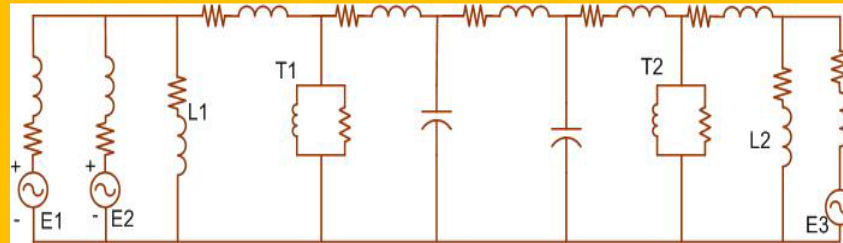
Untuk mengetahui perilaku sebuah sistem tenaga listrik dalam keadaan berbeban atau pada saat sistem mengalami gangguan, diagram segaris harus diubah terlebih dahulu menjadi diagram impedansi yang menunjukkan ekuivalen dari setiap komponen sistem tersebut dengan berpedoman pada salah satu sisi yang sama pada transformator.

Gambar 1.18 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari diagram segaris gambar 1.17. Pada gambar 1.18, rangkaian ekuivalen untuk sebuah saluran transmisi dinyatakan dengan rangkaian nominal dimana resistansi dan reaktansi induktif total pada cabang simpangnya. Rangkaian ekuivalen untuk generator ditunjukkan sebagai sebuah sumber tegangan yang terhubung seri dengan resistansi dan reaktansi sinkronnya, dimana reaktansi untuk generator pada saat terjadi gangguan adalah reaktansi sub peralihan (sub transient reactances).

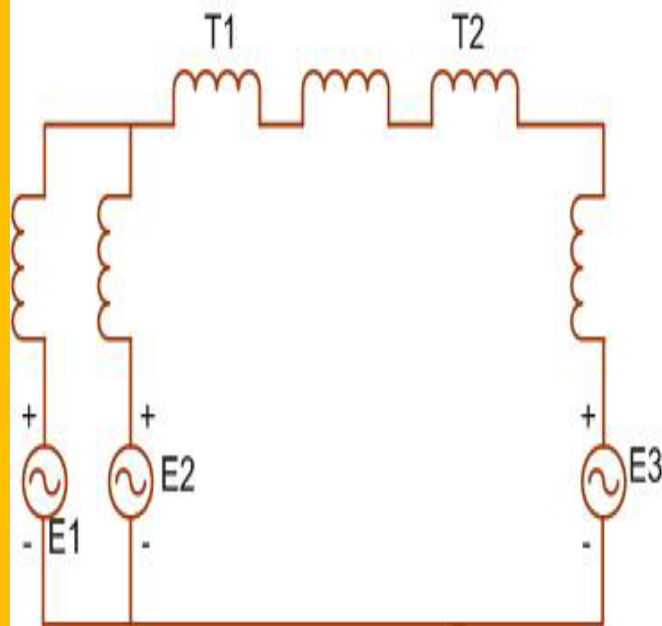
Untuk rangkaian ekuivalen transformator diberikan dalam bentuk resistansi, reaktansi bocor dan sebuah jalur untuk arus megnetisasi.

Pada umumnya admitansi simpangnya diabaikan, karena arus megnetisasi sangat kecil dibandingkan dengan arus beban penuh. Rangkaian untuk beban ditunjukkan dengan resistansi dan reaktansi dalam hubunan seri atau paralel.

Gambar 1.19, menunjukkan diagram impedansi dengan mengabaikan admitansi simpangnya.



Gambar 1.18. Diagram impedansi dari diagram segaris gambar 1.17



Gambar 1.19. Diagram impedansi yang mengabaikan admitansi simpangnya

Dalam penggambaran diagram impedansi, impedansi-impedansi pembatas arus yang ditunjukkan pada diagram sebaris tidak diikutsertakan sebab dalam keadaan yang seimbang tidak ada arus yang mengalir melalui impedansi-impedansi tersebut dan netral generator terletak pada potensial yang sama dengan netral pada sistem.

Harga-harga reaktansi yang terdapat pada gambar 1.19 dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator. Karena saluran transmisi berada pada sisi tegangan tinggi, harga reaktansinya tidak perlu dikoreksi. Demikian juga untuk kedua transformator, reaktansi bocornya tidak perlu dikoreksi karena data dari diagram satu garis menunjukkan bahwa reaktansi tersebut dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi.

Generator-generator yang terlihat pada gambar adalah berada pada sisi tegangan rendah dari transformator, sehingga reaktansi- reaktansinya harus dikoreksi dan dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator.

Generator 1 dan 2 dihubungkan pada rangkaian tegangan tinggi (saluran transmisi) melalui transformator tiga fasa yang terdiri dari tiga transformator satu fasa yang terdiri dari tiga transformator satu fasa yang terhubung Y-Y (seperti ditunjukkan gambar 1.20a).

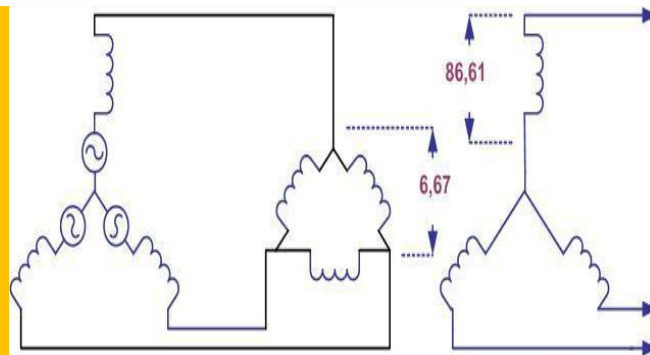
Misalkan reaktansi generator masing-masing besarnya adalah 0,655 Ohm, 0,544 Ohm dan 0,145 Ohm.

Reaktansi tiap-tiap fasa dari generator 1 sebesar 0,655 ohm (yang terhubung seri dengan tegangan internal E_1 dari generator 1), berada pada sisi tegangan 6,67 KV dari transformator. Jadi harga reaktansi tersebut dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator adalah :

$$0,655 \times \left(\frac{86,61}{6,67} \right)^2 = 110,44 \text{ ohm.}$$

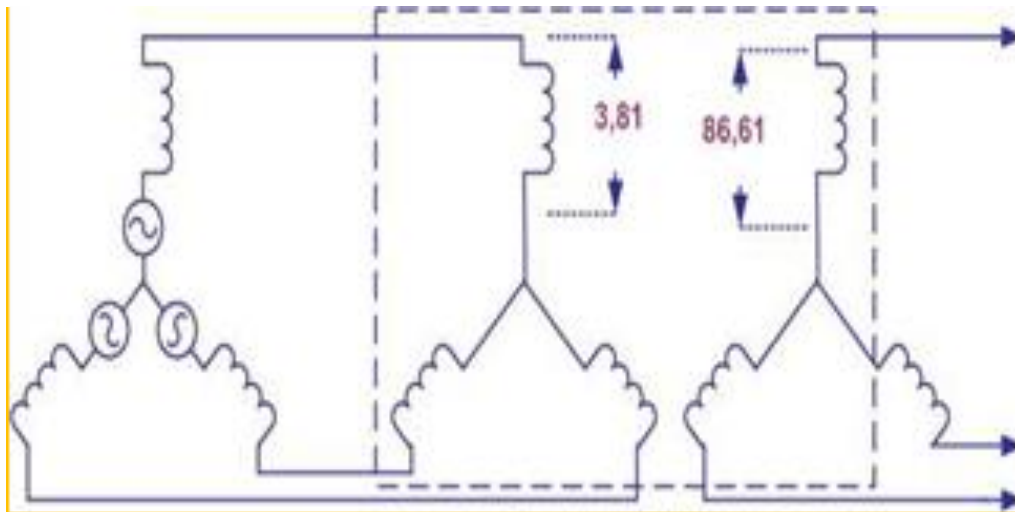
Dengan cara yang sama, harga reaktansi generator 2 dapat dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator, yakni 91,71 ohm. Generator 3 dihubungkan pada saluran transmisi melalui transformator dengan hubungan D-Y.

Gambar 1.20.b menunjukkan hubungan transformator D -Y tersebut.



Gambar 1.20.b. Transformator D -Y (6,67/150 KV)

Pada gambar tersebut terlihat bahwa generator 3 dengan hubungan Y dihubungkan pada sisi transformator dengan hubungan D. Untuk menentukan harga reaktansi generator 3 terhadap sisi tegangan tinggi, transformator dengan hubungan Y-D dapat diganti dengan transformator yang mempunyai hubungan Y-Y, dengan demikian perbandingan belitan untuk masing-masing transformator 1 fasa adalah $86,61/3,85$ kV seperti ditunjukkan pada gambar 1.20.c.



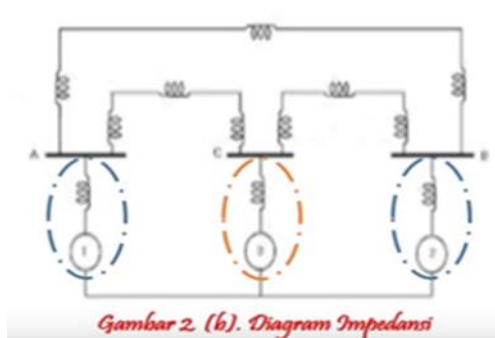
Gambar 1.20.c. Transformator Y-Y (6,67/150 KV)

Berdasarkan gambar 1.20.c tersebut, harga reaktansi dari generator 3 terhadap sisi tegangan tinggi adalah $(86,61/3,89)^2 \times 0,145 = 73,48$ ohm.

Faktor pengali yang digunakan adalah sama dengan perbandingan tegangan saluran yang dipangkatkan dua, bukan perbandingan tegangan fasa yang dipangkatkan dua. Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa untuk merubah harga reaktansi terhadap satu sisi tegangan dari transformator tiga fasa, faktor pengali yang digunakan adalah perbandingan tegangan antara saluran dipangkatkan dua tanpa melihat hubungan dari transformator, Y-Y atau D -Y.

reaktansi induktif(X) yang kita sebut sebagai impedansi (Z). Dengan mengabaikan seluruh resistansi pada diagram segaris (2.a), maka impedansi(Z)nya sama dengan Reaktansi induktif (X).

Sehingga rangkaian equivalent impedansi dapat kita lihat pada gambar 2.b.



Selanjutnya akan menghitung nilai - nilai impedansi, maka kita definisikan apa yang dimaksud nilai Baru dan Nilai Lama

Nilai Baru = Nilai Dasar pada perhitungan

Nilai Lama = Nilai yang ada pada nameplate pada peralatan.

$$Z_{(pu)baru} = Z_{(pu)lama} \times \frac{(MVA)_{B\ baru}}{(MVA)_{B\ lama}} \times \left(\frac{(KV_{B\ lama})}{(KV_{B\ baru})} \right)^2$$

Untuk trafo Y-Y ; 20 MVA , 138/20 KV ; X = 10 %

MVA dasar 50 MVA untuk saluran 40 Ω dan untuk saluran 20 Ω pada 138 KV

Tegangan dasar 138 KV, maka

$$X_{trafo\ Y-Y\ baru} = 0,1 \times \frac{50}{20} \times \left(\frac{138}{138} \right)^2 = 0,25\ pu$$

Untuk trafo Y-Δ ; 15 MVA , 138/13,8 KV ; X = 10 %

MVA dasar 50 MVA ; tegangan dasar 138 KV untuk saluran 20 Ω,

$$X_{trafo\ Y-\Delta\ baru} = 0,1 \times \frac{50}{15} \times \left(\frac{138}{138} \right)^2 = 0,333\ pu$$

Untuk generator 1 dan 2 . 20 MVA ; 18 KV ; X'' = 20 %

MVA dasar 50 MVA, tegangan dasar 20 KV

$$X_{gen\ 1,2\ baru} = 0,2 \times \frac{50}{20} \times \left(\frac{18}{20} \right)^2 = 0,405\ pu$$

Untuk motor srempak , 30 MVA, 13,8 KV ; X'' = 20 %

MVA dasar 50 MVA ,Tegangan dasar 13,8 KV

$$X_{\text{motor srempak baru}} = 0,2 \times \frac{50}{30} \times \left(\frac{13,8}{13,8}\right)^2 = 0,333 \text{ pu}$$

Impedansi pada saluran :

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{KV^2}{MVA}$$

$$Z_{\text{dasar saluran}} = \frac{138^2}{50} = 381 \Omega$$

$$\text{Nilai pu} = \frac{\text{Nilai sebenar}}{\text{Nilai dasar}}$$

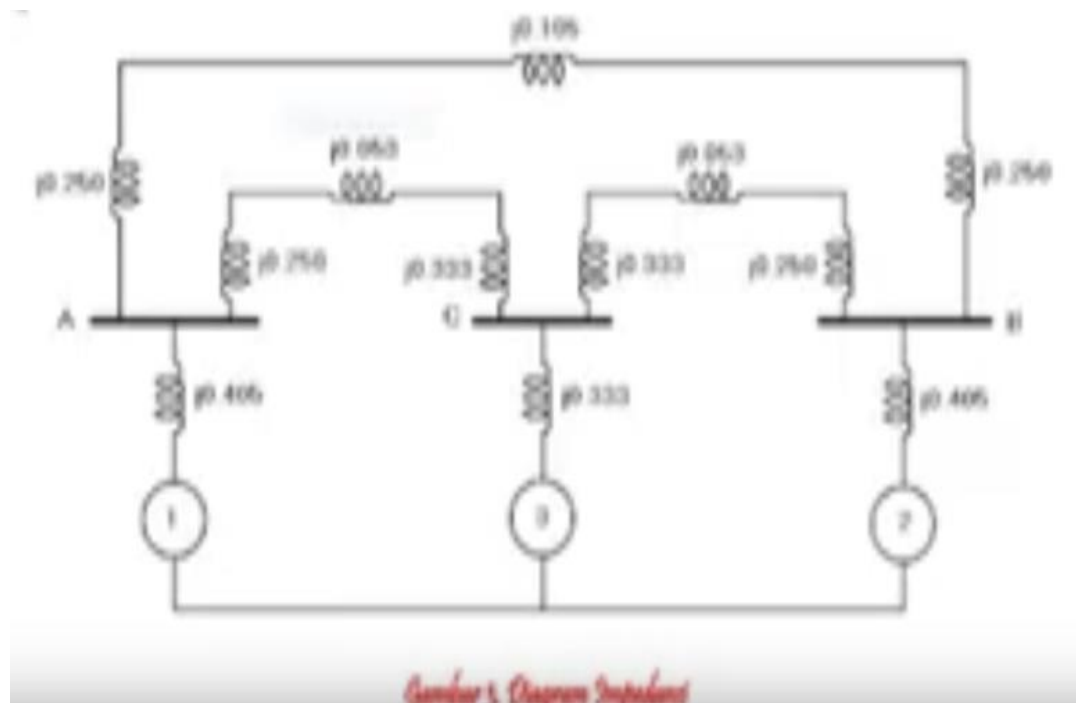
$$Z_{\text{p.u saluran(40)}} = 40 \Omega$$

$$Z_{\text{pu}} = \frac{40}{381} = 0,105 \text{ pu}$$

$$Z_{\text{p.u saluran (20)}} = 20 \Omega$$

$$Z_{\text{p.u}} = \frac{20}{381} = 0,053 \text{ pu}$$

Maka setelah mendapatkan nilai impedansi ,maka nilai tersebut dimasukkan kegambar(3)diagram dalam pu adalah sebagai berikut



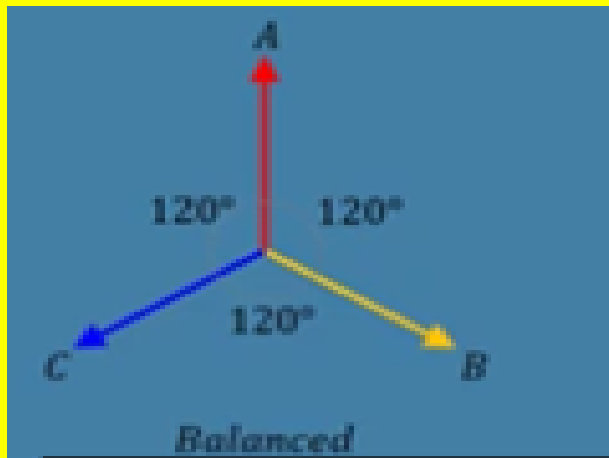
Gambar 3. Diagram Impedansi

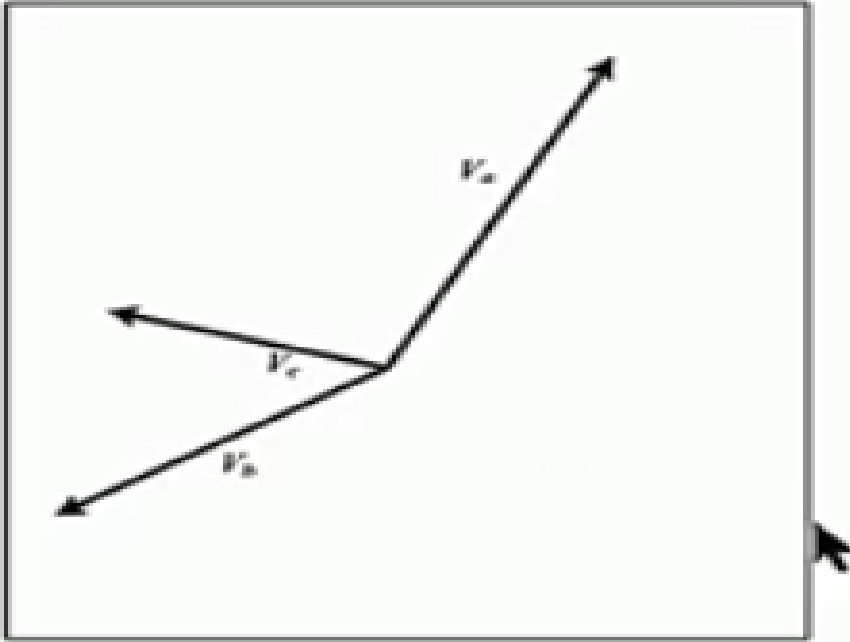
Komponen simetris

Komponen simetris untuk menganalisa hubung singkat satu fasa atau dua fasa ketanah atau penghantar terbuka.

Menurut Fortescue bahwa sistem tak setimbang yang terdiri dari N fasa-fasa yang berhubungan dapat diuraikan menjadi N sistem fasa – fasa setimbang yang disebut komponen – komponen simetri fasa aslinya.

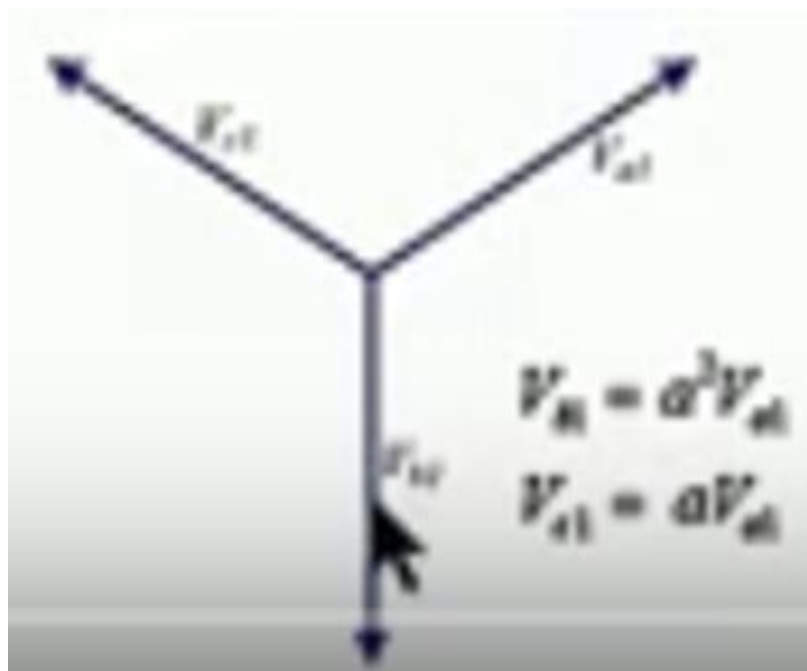
Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang setimbang.



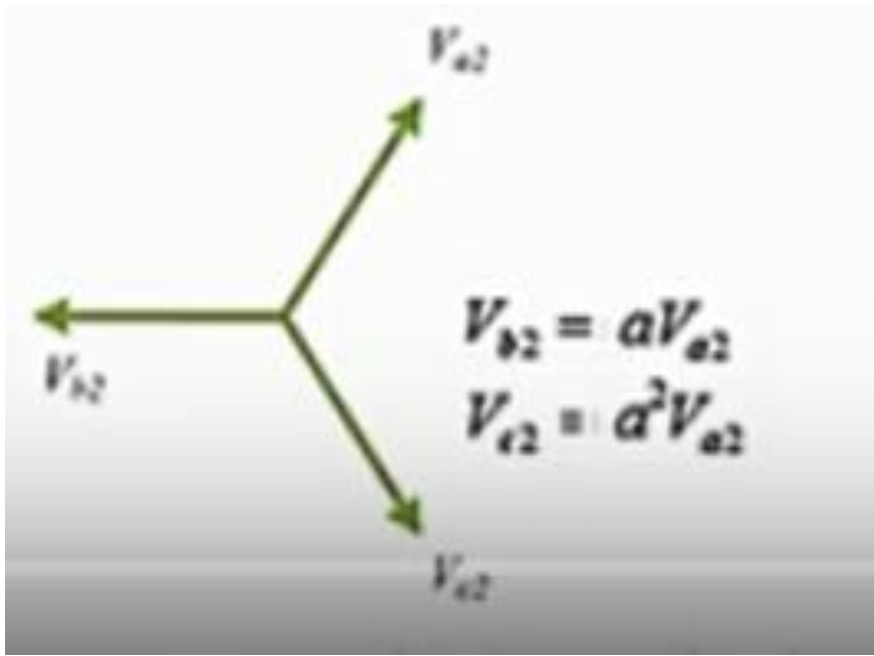


Himpunan himpunan setimbang komponen komponen itu adalah :

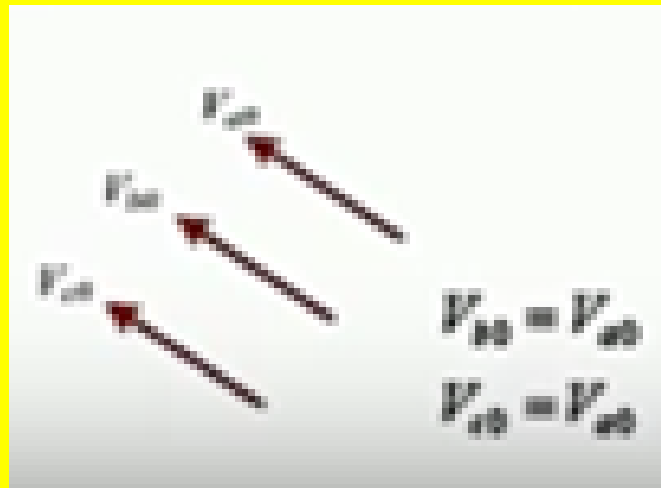
1. Komponen – komponen urutan positif terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya , terpisah antara yang satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti pada fasor fasor aslinya (**searah jarum jam**) seperti gbr dibawah ini



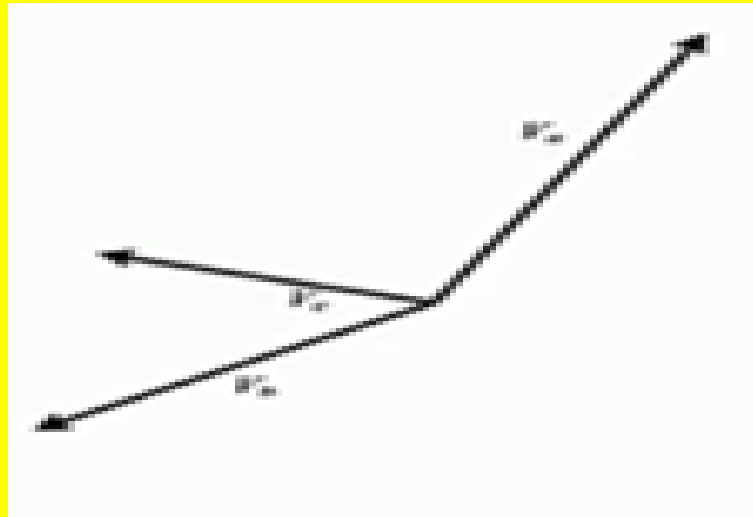
2. Komponen – komponen urutan negatif terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya , terpisah antara yang satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan dengan fasor fasor aslinya (**berlawanan arah jarum jam**).

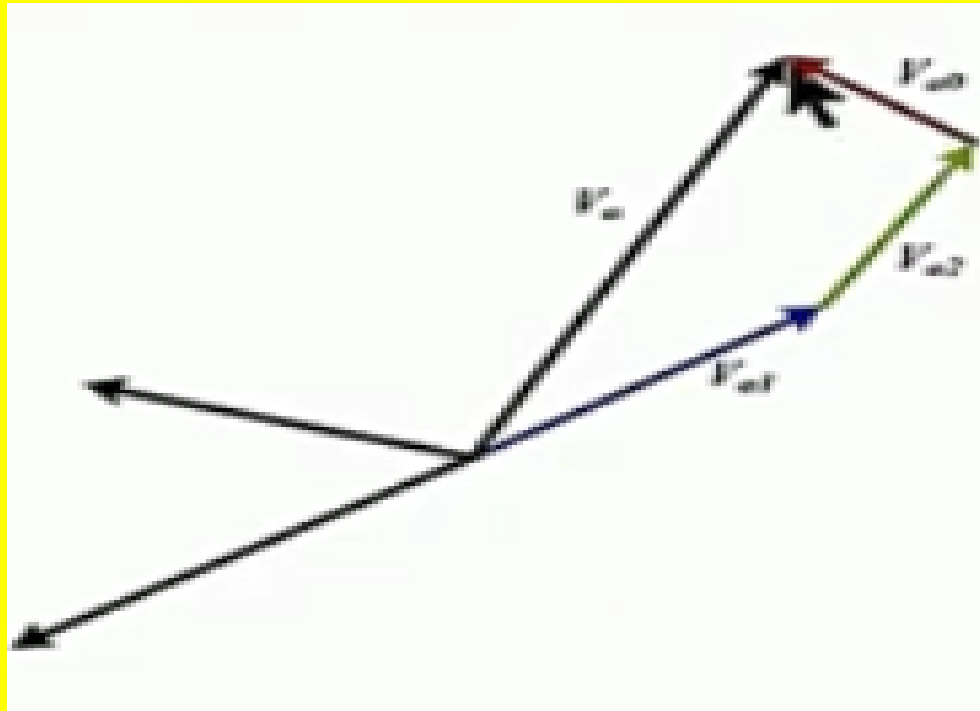


3. Komponen – komponen urutan Nol terdiri dari fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor fasor yang satu dengan yang lain.

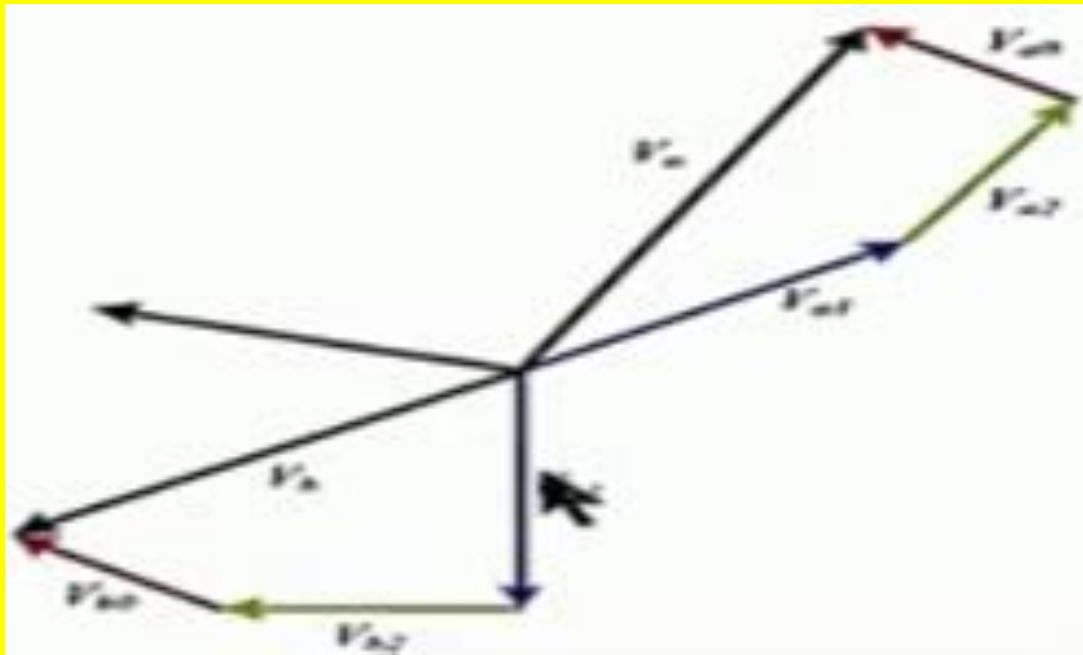


A,B dan C menunjukkan tiga fasa sistem itu, baik tegangan dan arus dalam sistem itu adalah abc.
Contoh tidak simetris

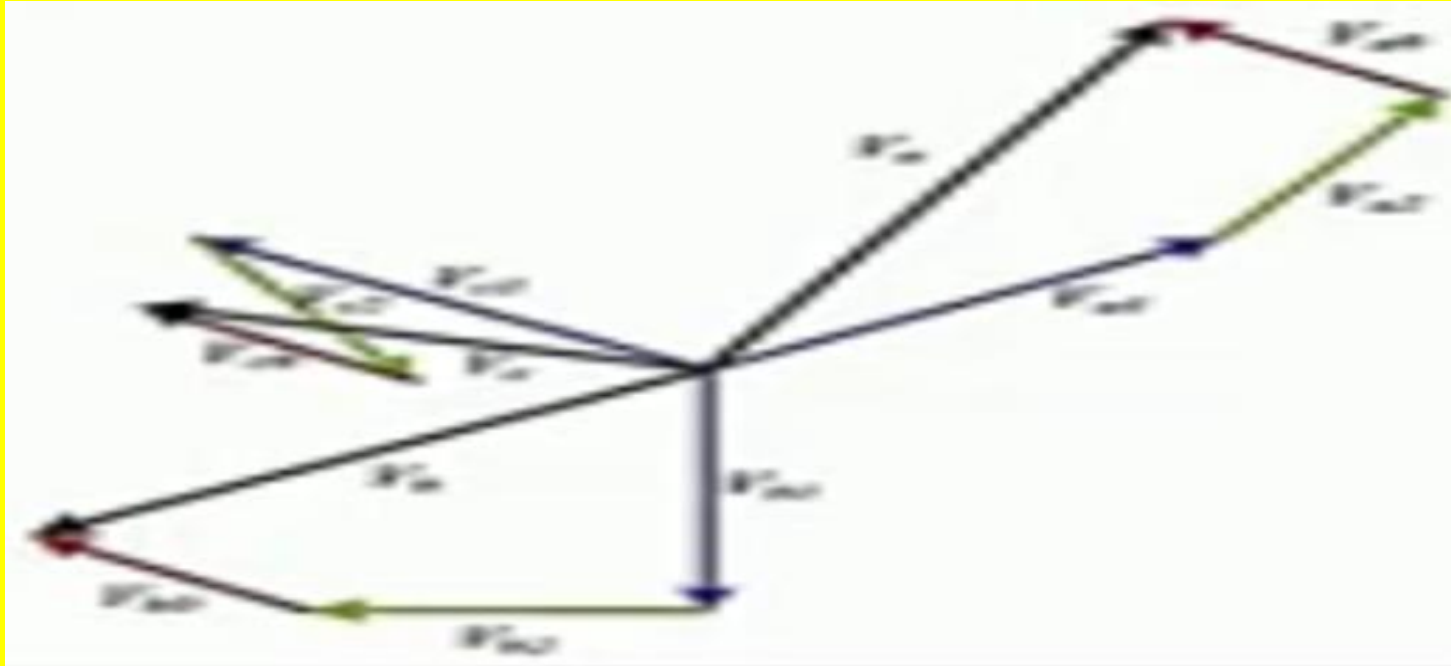




$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad \dots\dots\dots(12.1)$$

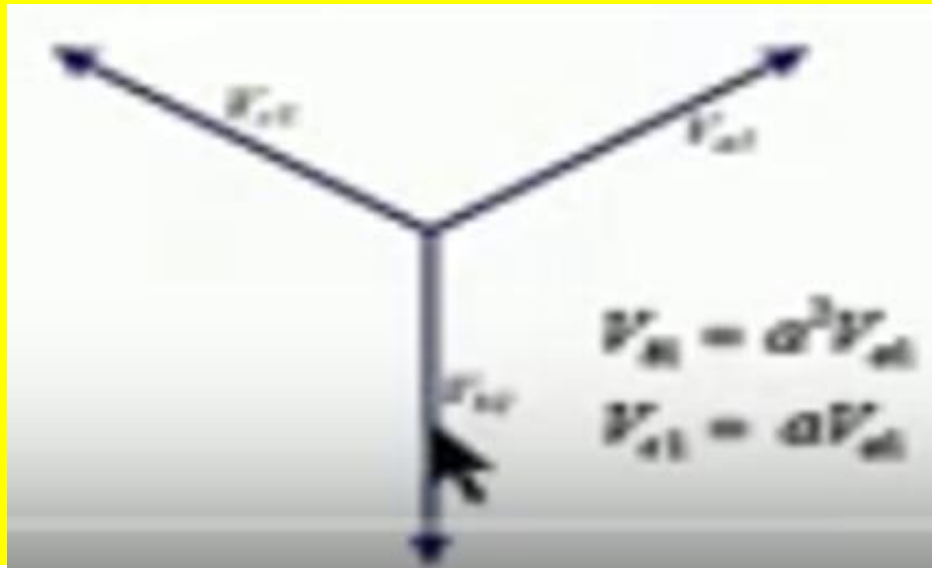


$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \dots \dots \dots (12.2)$$



$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \dots\dots\dots(12.3)$$

Dengan memperhatikan persamaan 12.1 , 12.2 dan 12.3 .Maka,
Komponen urutan positif



$$V_{b1} = a^2 V_{a1} \dots \dots \dots 12.4$$

$$V_{b2} = a V_{a1} \dots \dots \dots 12.4$$

dimana

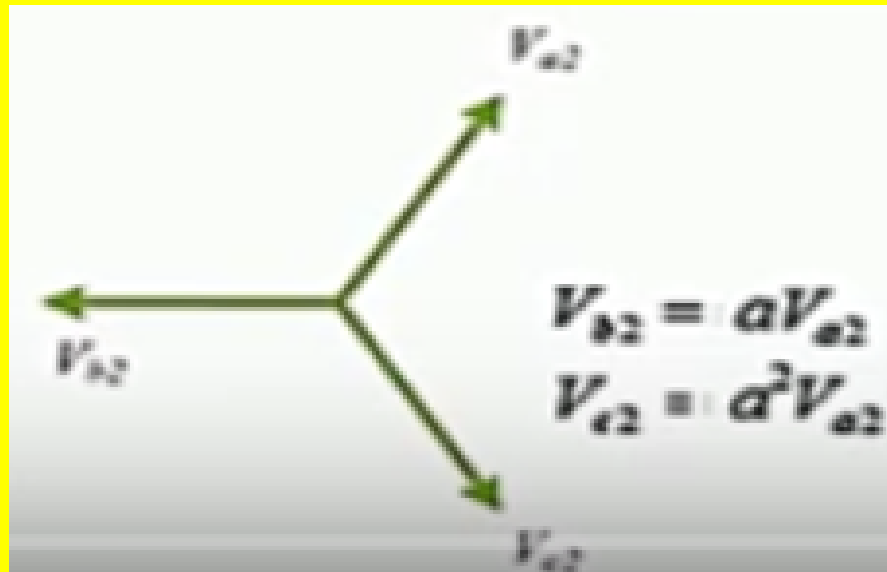
a = operator

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 + j0$$

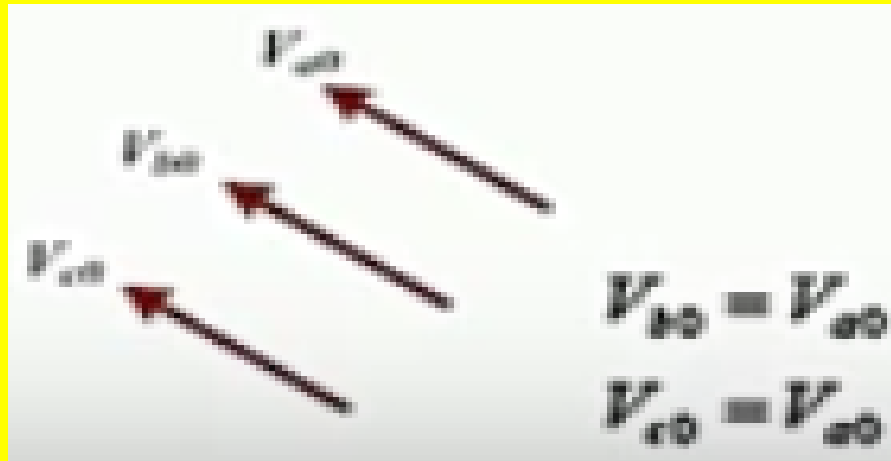
komponen urutan negatif



$$V_{b2} = a V_{a2} \quad \dots\dots\dots 12.4$$

$$V_{c2} = a^2 V_{a2} \quad \dots\dots\dots 12.4$$

Komponen urutan Nol



$$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} \dots\dots\dots 12.4$$

Dengan berpedoman persamaan (12.4) pada urutan positif, negatif dan nol .

Dengan memasukkan persamaan 12.4 ke persamaan ke pers 12.1 , 12.2, dan 12.3 menghasilkan

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots 12.5$$

$$V_b = a^2V_{a1} + aV_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots 12.6$$

$$V_c = aV_{a1} + a^2V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots 12.7$$

Atau dalam bentuk matrik

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{a0} \\ v_{a1} \\ v_{a2} \end{bmatrix} \dots 12.8$$

Untuk memudahkan kita misalkan

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots \dots \dots 12.9$$

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \dots\dots\dots 12.10$$

$$\begin{bmatrix} v_{a0} \\ v_{a1} \\ v_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots 12.11$$

Maka dari persamaan 12.11 dapat ditulis

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (v_a + v_b + v_c) \quad \dots\dots\dots 12.12$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (v_a + av_b + a^2v_c) \quad \dots\dots\dots 12.13$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (v_a + a^2v_b + av_c) \quad \dots\dots\dots 12.14$$

Dengan cara yang sama pada persamaan tegangan diatas dapat juga di tulis untuk arus

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots 12.5$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots 12.16$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots 12.17$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \dots\dots\dots 12.18$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \dots\dots\dots 12.19$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \dots\dots\dots 12.20$$

Dalam suatu sistem tiga fasa jumlah arus saluran sama dengan I_n dalam jalur kembali melalui netralnya ,jadi

$$I_a + I_b + I_c = I_n \dots\dots\dots 12.21$$

Dengan membandingkan pers 12.18 dengan 12.21

$$I_n = 3 I_{ao}$$

Soal

Diketahui suatu gambar rangkaian tiga fasa salah satu penghantar terbuka (seperti gambar), arus dalam saluran sebagai pedoman dan mengandaikan saluran C terbuka tentukan komponen komponen simetris arus arus saluran, jika arus arus saluran $I_a = 10\angle 0^\circ$ Amper, $I_b = 10\angle 180^\circ$ amper dan $I_c = 0$ Amper.

• Jawab :

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (10 \angle 0^\circ + 10 \angle 180^\circ + 0) \\ = 0 \text{ (Amper)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (10 \angle 0^\circ + 10 \angle 180^\circ + 120^\circ + 0) \\ = 5 - j2,89 = 5,78 \angle -30^\circ \text{ (Amper)}$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (10 \angle 0^\circ + 10 \angle 180^\circ + 240^\circ + 0) \\ = 5 + j 2,89 = 5,78 \angle 30^\circ \text{ (amper)}$$

Dari persamaan (12.4)

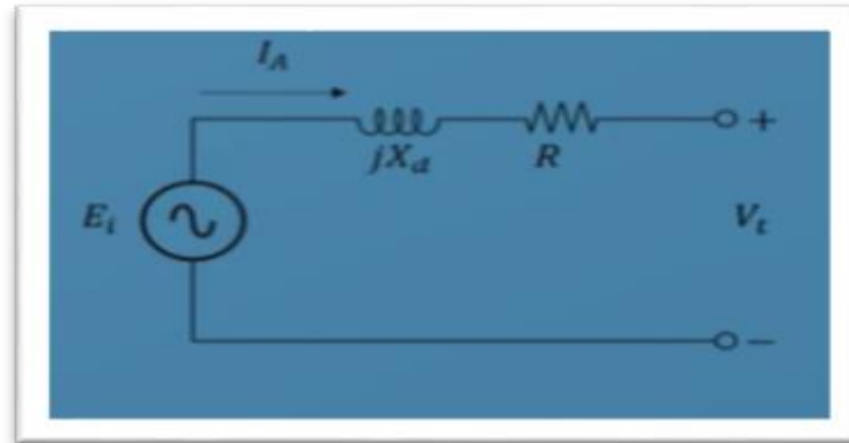
$$I_{b1} = 5,78 \angle 150^\circ, I_{c1} = 5,78 \angle 90^\circ$$

$$I_{b2} = 5,78 \angle 150^\circ, I_{c2} = 5,78 \angle -90^\circ$$

$$I_{b0} = 0, I_{c0} = 0$$

Gangguan Simetris

Tinjau suatu rangkaian ekivalent mesin sinkron



Gambar 1. Diagram Ekivalent Generator Sinkron

V_t = Tegangan Terminal

E_i = Tegangan Induksi

I_A = Arus Stator

R = Resistansi

X_d = Reaktansi

$R \ll X_d$

$$V_t = E_i - (R + jX_d)I_A$$

$$V_t(t) = \sqrt{2} |v_t| \cos \omega t \quad (\text{teg instanteneous})$$

$$e_i(t) = \sqrt{2} |E_i| \cos (\omega t - \delta)$$

$$i_A(t) = \sqrt{2} |I_A| \cos (\omega t - \theta)$$

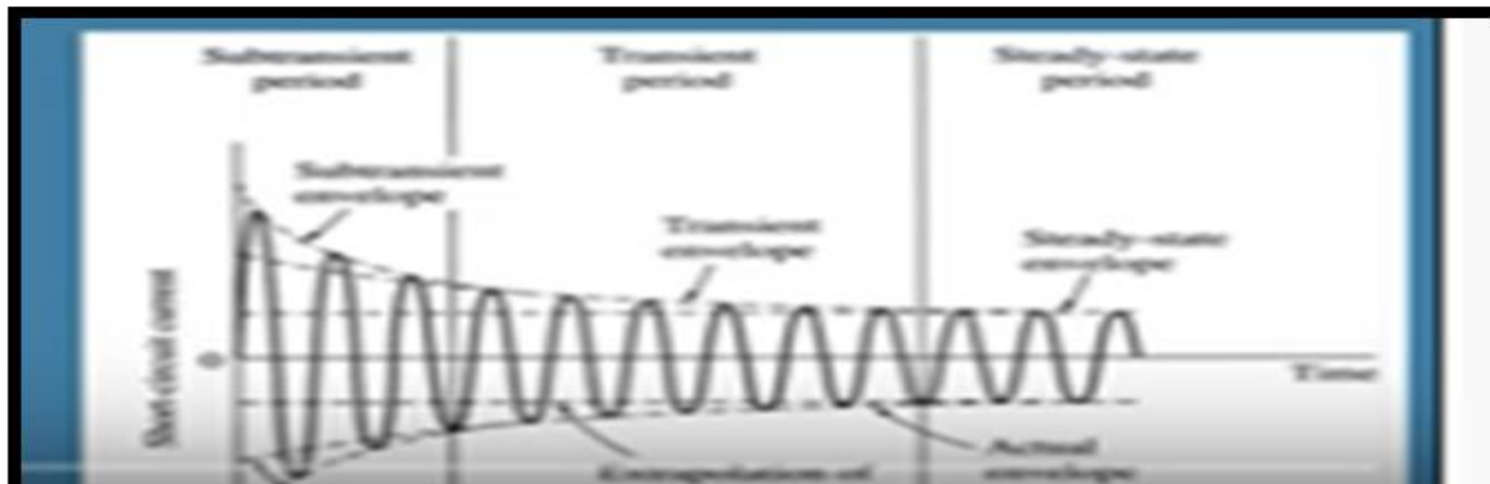
Ketika terjadi hubung singkat pada terminal generator, maka $V_t = 0$ dan arus stator akan menjadi .

$$I_A(t) = |E_t| \frac{1}{X_d} + |E_t| \left(\frac{1}{X'_d} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d}} + |E_t| \left(\frac{1}{X''_d} - \frac{1}{X'_d} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Steady State

Transient

Sub Transient



Maka reaktansi reaktansi pada :

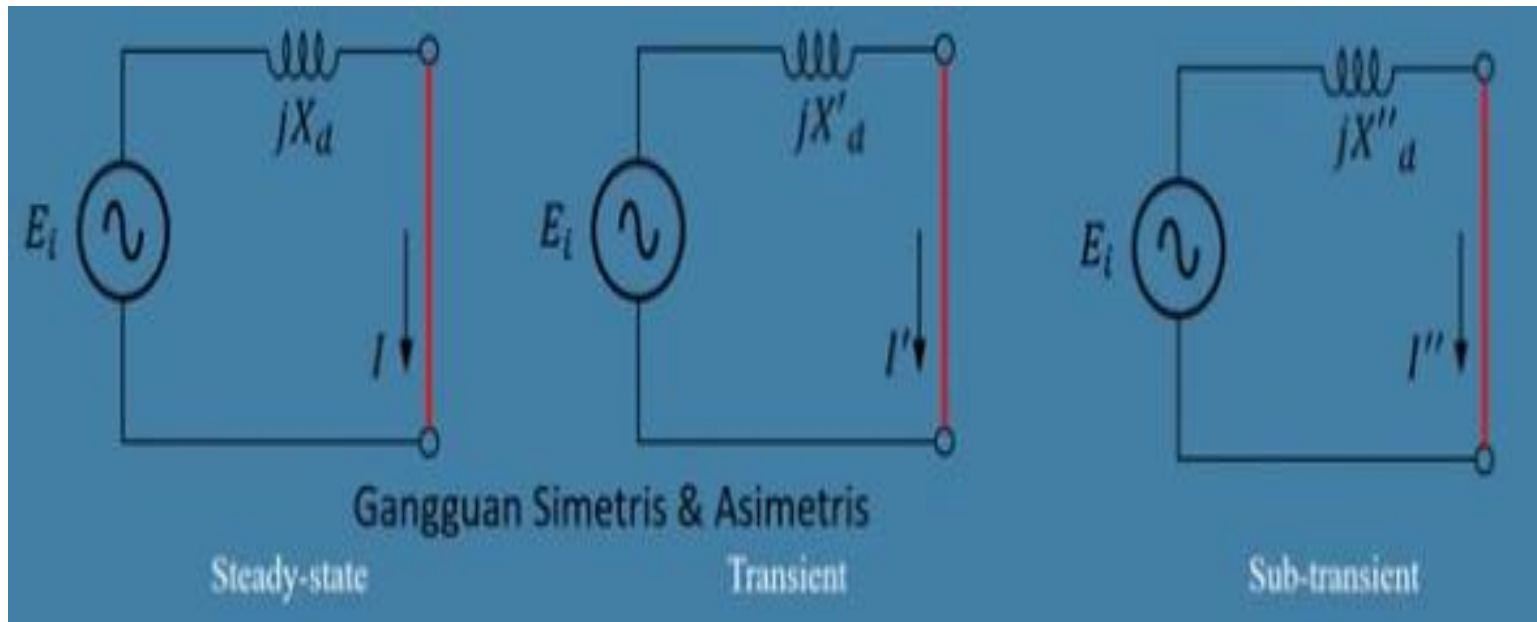
X_d = Reaktansi steady state(pada mesin)

X'_d = Reaktansi Transient

X''_d = Reaktansi sub transient

$$X''_d < X'_d < X_d$$

Rangkaian equivalen hubung singkat dapat kita sederhanakan menjadi

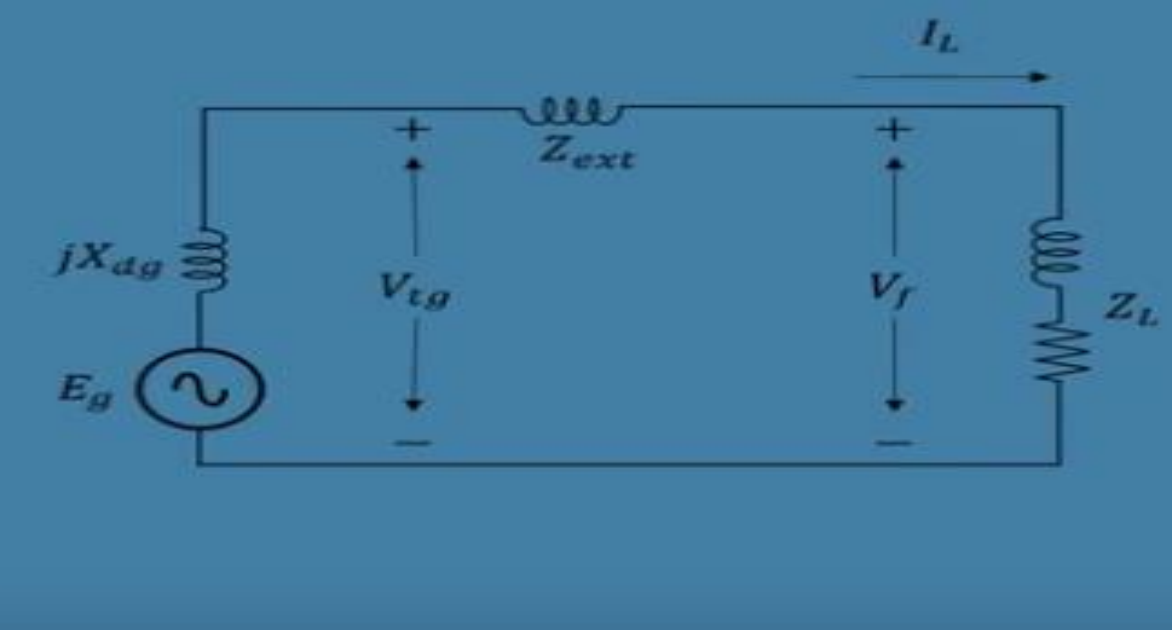


$$|I| = \frac{|E_i|}{X_d} = \text{ arus steady state}$$

$$|I'| = \frac{|E_i|}{X'_d} = \text{ arus Transient}$$

$$|I''| = \frac{|E_i|}{X''_d} = \text{ arus Sub Transient.}$$

Hal tersebut terjadi HS tanpa beban, Namun Berbeda Jika kita menghitung arus transient dan sub transient ketika generator berbeban.



Ketika generator berbeban

$$I_L \neq 0$$

$$E_g = V_f + (Z_{ekt} + j X_d) I_L$$

Tegangan induksi

$$E_g = V_f + (Z_{ekt} + j X'_d) I_L \quad \text{Saat transient}$$

Dan

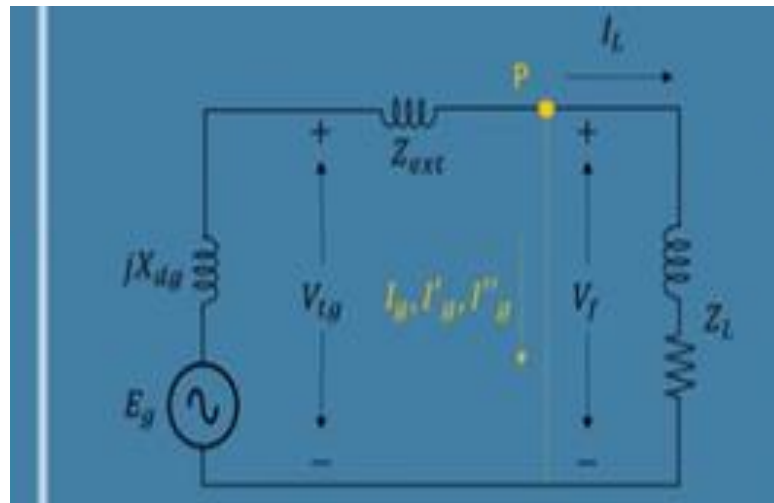
$$E_g = V_f + (Z_{ekt} + jX''_d)I_L \text{ saat subtransient}$$

Maka dengan mengganti X_{dg} dengan X'_{dg} atau X''_{dg} , maka diperoleh E'_{dg} dan E''_{dg}

$$E'_g = V_f + (Z_{ekt} + jX'_{dg})I_L$$

$$E''_g = V_f + (Z_{ekt} + jX''_{dg})I_L$$

Ketika hubung singkat keadaan berbeban akan timbul arus I_g , I'_g dan I''_g



Maka diperoleh arus gangguan hubung singkat :

$$I'_g = \frac{E'_g}{(Z_{ekt} + jX'_{dg})} = \frac{V_f}{(Z_{ekt} + jX'_{dg})} + I_L$$

$$I''_g = \frac{E''_g}{(Z_{ekt} + jX''_{dg})} = \frac{V_f}{(Z_{ekt} + jX''_{dg})} + I_L$$

karena reaktansi dari motor sinkron memiliki karakteristik yang sama dengan generator.

Ketika terjadi hubung singkat , maka motor tidak mendapatkan energi dari sistim

Namun Rotor dari motor tetap mendapat suply inersia dari motor menyebabkan rotor tetap berputar untuk beberapa saat.

Sehingga motor sinkron berubah menjadi generator untuk beberapa saat dengan tegangan internal (induksi) transient dan sub transiensi dari motor adalah :

$$E'_M = V_M - jX'_{dm} I_L$$

$$E''_M = V_M - jX''_{dm} I_L$$

Ketika gangguan tiga fasa terjadi pada motor terminal maka :

$$V_M = V_f$$

$$E'_M = V_f - jX'_{dm} I_L$$

$$E''_M = V_f - jX''_{dm} I_L$$

Maka arus gangguan dapat diperoleh I'_g dan I''_g dapat diperoleh

$$I'_M = \frac{E'_m}{jX'_{dm}} = \frac{V_f}{jX'_{dml}} - I_L$$

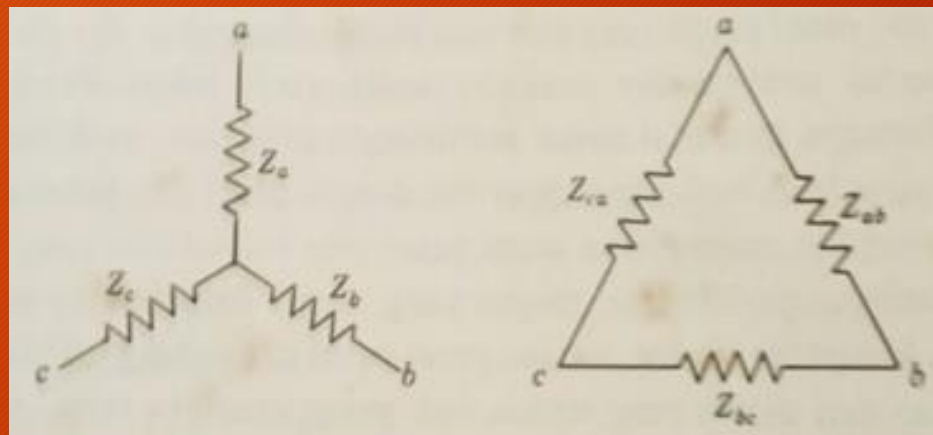
$$I''_M = \frac{E''_m}{jX''_{dm}} = \frac{V_f}{jX''_{dml}} - I_L$$

Contoh soal

Suatu alternator dan sebuah motor mempunyai rating 30 MVA, 13,2 KV dan keduanya mempunyai reaktansi sub transient 20 % . saluran yang menghubungkan kedua mesin itu mempunyai reaktansi 10% . berdasarkan kepada kepada ating mesin. Motor itu menarik 20.000 kw pada faktor daya 0,8 mendahului dengan tegangan 12,8 kV pada saat gangguan tiga fasa terjadi pada kutub (terminal motor). Hitunglah arus sub transient pada alternator ,motor dan gangguan dengan menggunakan tegangan dalam kedua mesin tersebut.

Kesetaraan Bintang (Y) - Delta (Δ)

- Dalam menyelesaikan persoalan yang tersambung yang berbentuk lebih dari beberapa unsur, maka hal ini diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut :
- Kesetaraan dari Y – Δ :

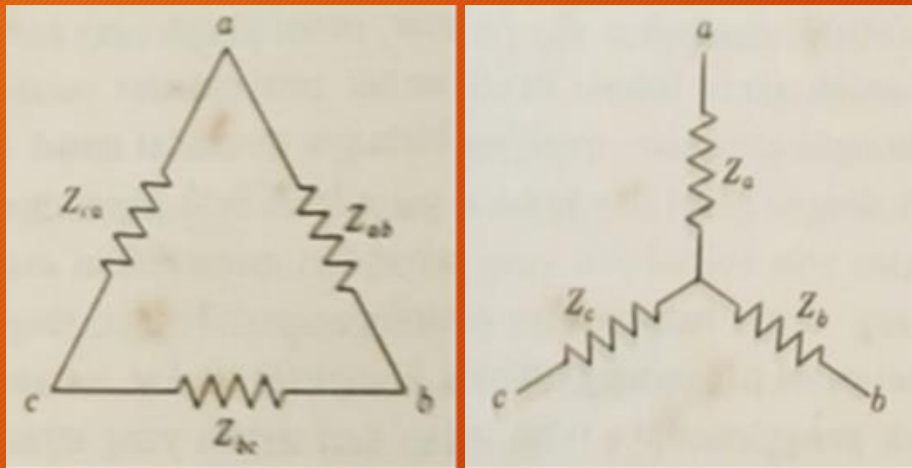


$$Z_{ab} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_c}$$

$$Z_{bc} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_a}$$

$$Z_{ca} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_b}$$

- Jika kita ingin mengubah impedansi yang dihubungkan secara Δ kesuatu Y setara, persamaan - persamaanya adalah :

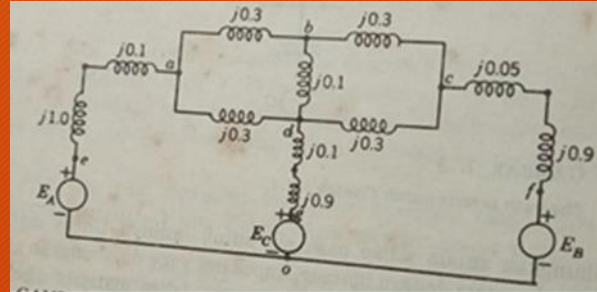


$$Z_a = \frac{Z_{ab}Z_{ca}}{Z_{ab}+Z_{bc}+Z_{ca}}$$

$$Z_b = \frac{Z_{ab}Z_{bc}}{Z_{ab}+Z_{bc}+Z_{ca}}$$

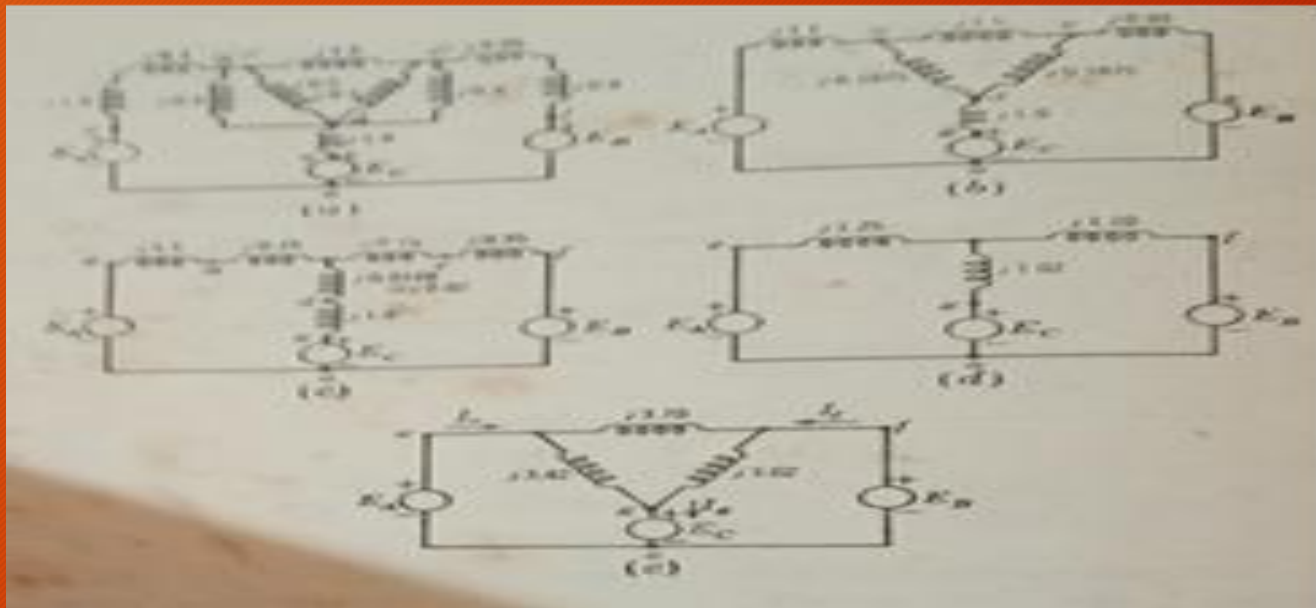
$$Z_c = \frac{Z_{bc}Z_{ca}}{Z_{ab}+Z_{bc}+Z_{ca}}$$

Sederhanakan rangkaian tersebut dibawah ini



Jawablah dengan kesetaraan diatas.

Gambar ini merupakan jawaban, selanjutnya lengkapi dengan perhitungannya



Simpul b dihapus ,jadi bentuk bintang (Y)a,c dan d.

Dari gambar bintang ke delta sbb:

$$Z_{ac} = \frac{j0,3 \times j0,3 + j0,3 \times j0,1 + j0,3 \times j0,1}{j0,1} = \frac{-0,9 + (-0,3) + (-0,3)}{j0,1} = \frac{-0,15}{j0,1} \times$$

$$\frac{-j}{-j} = j1,5 \text{ P.U}$$

$$Z_{cd} = \frac{j0,3 \times j0,3 + j0,3 \times j0,1 + j0,3 \times j0,1}{j0,3} = \frac{-0,15}{j0,3} = j0,5 \text{ P.U}$$

$$Z_{da} = \frac{j0,3 \times j0,3 + j0,3 \times j0,1 + j0,3 \times j0,1}{j0,3} = \frac{-0,15}{j0,3} = j0,5 \text{ P.U}$$

Langkah selanjutnya impedansi serie antara simpul a dan e, antara c dan f dan antara d dan g ,maka :

$$Z_{ea} = j 1,0 + j0,1 = j 1,1$$

$$Z_{cf} = j 0,9 + j0,05 = j0,95$$

$$Z_{dg} = j0,9 + j0,1 = j1,0$$

Selanjutnya parallel impedansi a dan d dan c dan d menghasilkan

$$Z_{ad} = Z_{cd} = \frac{j0,5 \times j0,3}{j0,5 + j 0,3} = j 0,1875$$

Selanjutnya gambar (b) didapat

Kemudian setara kan dari delta ke bintang.

$$Z_a = Z_c = \frac{j0,1875 \times j1,5}{j1,5 + j0,1875 + j0,1875} = \frac{-0,28125}{j1,875} = j0,15$$

$$Z_d = \frac{j0,1875 \times j0,1875}{j1,5 + j0,1875 + j0,1875} = \frac{-0,035156}{j1,875} = j0,01875$$

Langkahselanjut dari gambar d ke e(Bintang - Delta).

$$Z_{ef} = \frac{j1,25 \times j1,1 + j1,1 \times j1,02 + j1,02 \times j1,25}{j1,02} = j3,70$$

$$Z_{fg} = \frac{j1,25 \times j1,1 + j1,1 \times j1,02 + j1,02 \times j1,25}{j1,25} = j3,02$$

$$Z_{ge} = \frac{j1,25 \times j1,1 + j1,1 \times j1,02 + j1,02 \times j1,25}{j1,1} = j3,42$$

Pertanyaan Selanjutnya jika diketahui $E_A = 1,5 < 0^\circ$, $E_B = 1,5 < 15^\circ$ dan $E_C = 1,5 < -36,9^\circ$, tentukan keluaran dari stasion - stasion A,B dan C ?

Contoh 1

$$V_a = 180\angle 0 \quad V_b = 250\angle -90 \quad V_c = 220\angle 100$$

- Berapa komponen urutan positif, negatif dan nol nya ?
- Berapa persen ketidakseimbangan tegangannya berdasarkan tegangan fasa ke fasa (LVUR) ?
- Berapa persen ketidakseimbangan berdasarkan komponen simetrisnya ?

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \quad V_{a1} = \frac{1}{3}(180\angle 0 + (1\angle 120 \times 250\angle -90) + (1\angle 240 \times 220\angle 100)) = 201,8\angle 4,7$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad V_{a2} = \frac{1}{3}(180\angle 0 + (1\angle 240 \times 250\angle -90) + (1\angle 120 \times 220\angle 100)) = 68,6\angle -175,4$$

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad V_{a0} = \frac{1}{3}(180\angle 0 + 250\angle -90 + 220\angle 100) = 48,6\angle -13,2$$

$$\%LVUR = \frac{\text{Selisih maksimum tegangan fasa ke fasa terhadap rata-rata tegangan fasa ke fasa}}{\text{rata-rata tegangan fasa ke fasa}}$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = 180\angle 0 - 250\angle -90 \quad |V_{ab}| = 308,0584 \text{ V}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = 250\angle -90 - 220\angle 100 \quad |V_{bc}| = 468,2188 \text{ V}$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = 220\angle 100 - 180\angle 0 \quad |V_{ca}| = 307,4946$$

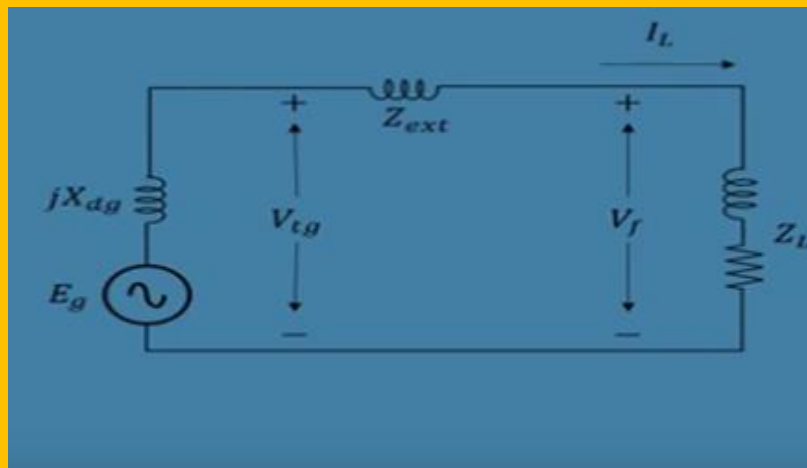


Jawaban contoh soal

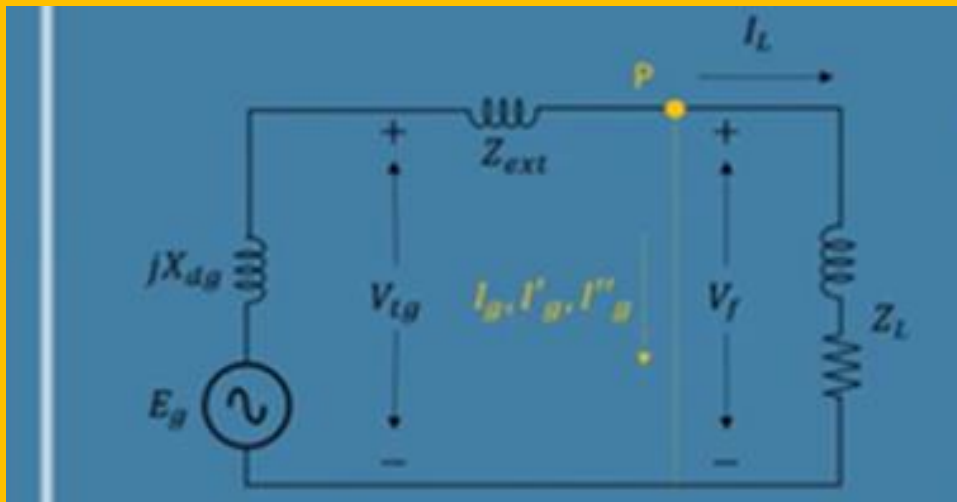
Suatu alternator dan sebuah motor mempunyai rating 30 MVA, 13,2 KV dan keduanya mempunyai reaktansi sub transient 20 % . saluran yang menghubungkan kedua mesin itu mempunyai reaktansi 10% . berdasarkan kepada kepada ating mesin. Motor itu menarik 20.000 kw pada faktor daya 0,8 mendahului dengan tegangan 12,8 kV pada saat gangguan tiga fasa terjadi pada kutub (terminal motor). Hitunglah arus sub transient pada alternator ,motor dan gangguan dengan menggunakan tegangan dalam kedua mesin tersebut.

Jawab :

Gambar sebelum gangguan



Gambar setelah gangguan sbb:



Jika digunakan tegangan pada gangguan V_f sebagai fasor pedoman

$$V_f = \frac{12,8}{13,2} = 0,97 \angle 0^\circ \text{ PU}$$

$$\text{KVA}_{\text{Base}} = 30.000 \text{ KVA}$$

$$\text{KV}_{\text{base}} = 13,2 \text{ KV}$$

$$\text{Arus base} = \frac{30.000}{\sqrt{3} \times 13,2} = 1312 \text{ Amper}$$

$$I_L = \frac{20000}{0,8 \sqrt{3} \times 12,8} = 1128 \angle 36,9^\circ \text{ amper}$$

$$I_{\text{Ipu}} = \frac{1128}{1312} = 0,86 \angle 36,8^\circ \text{ pu}$$

$$= 0,86(0,8 + j0,6)$$

$$= 0,69 + j 0,52$$

Untuk generator

$$\begin{aligned}V_t &= V_f + Z \cdot I_L \\&= 0,97 + j0,1 (0,69 + j0,52) \\&= 0,97 + j0.069 - 0,052 \\&= 0,918 + j0,069 \text{ (pu)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E''_g &= V_t + X_g \cdot I_L \\ &= 0,918 + j0,069 + j0,2(0,69 + j0,52) \\ &= 0,918 + j0,069 + j0,138 - 0,104 \\ &= 0,814 + j0,207 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

$$I''_g = \frac{E''_g}{X_g + X_{Saluran}}$$

$$= \frac{0,814 + j0,207}{j0,2 + j0,1}$$

$$= 0,69 - j2,71 \text{ (pu)}$$

$$I''_g = I''_{pu} \times I_{base} = (0,69 - j2,71)1312$$
$$= 905 - j3550 \text{ (Amper)}.$$

Untuk motor

$$V_t = V_f = 0,97 \angle 0^\circ$$

$$E''_m = V_t - X_m \cdot I_L$$

$$= 0,97 + j0 - j0,2(0,69 + j0,52)$$

$$= 0,97 - j0,138 + 0,104$$

$$= 1,074 - j0,138 \text{ (pu)}$$

$$\begin{aligned} I''_m &= \frac{E''_m}{X_m} \\ &= \frac{1,074 - j0,138}{j0,2} \\ &= -0,69 - j5,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I''_m &= I''_{m \text{ pu}} \times I_{L\text{base}} \\ &= 1312(-0,69 - j5,37) \\ &= -905 - j7,050 \text{ (Amper)} \end{aligned}$$

















Jadi arus gangguan

$$\begin{aligned} I''_f &= I''_g + I''_m \\ &= 0,69 - j2,71 - 0,69 - j5,37 \\ &= -j8,08 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I''_f &= I''_{f \text{ pu}} \cdot I_{L\text{base}} \\ &= -j 8,08 \times 1312 \\ &= -j 10600 \text{ (Amper)} \end{aligned}$$



















Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN

Nama Dosen		: 1. Ir. Nizar Rosyidi AS ,MT. 2. Poedji Oetomo,ST,MT			Hari		Sabtu	
Mata Kuliah		: Analisa sistem tenaga Listrik			Jam		8.00-9.40	
Kelas		: K			Ruang		:	
No.	Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf Dosen			
1.	Sabtu,8-4-2023	Pendahuluan Analisa Sistim Tenaga Listrik	elearning istn dan Google Meet	2	 			
2.	Sabtu.15-4-2023	Daya Listrik	elearning istn dan Google Meet	3	 			
3.	Sabtu,22-4-2023	Sistim Per Unit (PU)	elearning istn dan Google Meet	2	 			
4.	Sabtu,,29-4-2023	Sistim Per Unit satu fasa	elearning istn dan Google Meet	3	 			
5.	Sabtu, 6-5-2023	Tugas	elearning istn dan Google Meet	3	 			
6.	Sabtu,13-5-2023	Sistim Per Unit tiga fasa	elearning istn dan Google Meet	3	 			
7.	Sabtu,20-5-2023	Pembahasan Tugas	elearning istn dan Google Meet	2	 			
8.	Sabtu,27-5-2023	UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS) SEMESTER Genap 2022/2023	elearning istn dan Google Meet	3	 			



Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN

Nama Dosen		: 1. Ir. Nizar Rosyidi AS ,MT. 2. Poedji Oetomo,ST,MT			Hari		Sabtu	
Mata Kuliah		Analisa Sistem Tenaga			Jam		8.00-9.40	
Kelas		: K			Ruang		:	
No.	Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf Dosen			
9	Sabtu 3-6-2023	Energi Tersedia	elearning istn dan Google Meet	3	 			
10	17/6/2023	Energi Tersediaan saluran	elearning istn dan Google Meet	2	 			
11	Sabtu, 24-6-2023	Diagram segaris	elearning istn dan Google Meet	1	 			
12	Sabtu,1-7-2023	Contoh Perhitungan Diagram diagram Segaris	elearning istn dan Google Meet	2	 			
13	Sabtu,8-7-2023	Setara Delta - Bintang	elearning istn dan Google Meet	1	 			
14	Sabtu, 15-7-2023	Gangguan Simetris	elearning istn dan Google Meet	3	 			
15	Sabtu,22-7-2023	Komponen Simetris	elearning istn dan Google Meet	3	 			
16	Sabtu	UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS) SEMESTER Genap 2022/2023	elearning istn dan Google Meet		 			

Jakarta, 2023
Kaprodi Teknik Elektro S1 FTI ISTN


Harlan Effendi,ST, MT

DAFTAR NILAI

SEMESTER GENAP REGULER TAHUN 2022/2023

Program Studi : Teknik Elektro S1

Matakuliah : Analisis Sistem Tenaga

Kelas / Peserta : K

Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng P2K - Kelas

Dosen : Poedji Oetomo, ST.,MT

Ir. Nizar Rosyidi AS. MT

Hal. 1/1

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	0%	0%		
1	20224001	Andri Suparto	29	0	0	40	0	0	18.9	E
2	22224702	Dodik Adhi Kris Nugroho	100	60	85	80	0	0	79.5	A-
3	22224703	Jimmywal,Amd	79	60	75	75	0	0	72.4	B+

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	1	C+	0	D+	0
A-	1	B	0	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	1

Jakarta,7 August 2023

Dosen Pengajar



Poedji Oetomo, ST.,MT Ir. Nizar Rosyidi AS.MT



**DAFTAR HADIR PESERTA KULIAH MAHASISWA
GENAP - REGULER - TAHUN 2022/2023**

FAK / JURUSAN
MATAKULIAH
KELAS / PESERTA
KURIKULUM
DOSEN

Teknik Elektro S1
Analisis Sistem Tenaga / 226102 / 6
K / 3
2018
1. Poedji Oetomo, ST., MT
2. Nizar Rosyidi, Ir. MT.

HARI / TANGGAL Sabtu
JAM KULIAH 08:00-09:40
RUANG C-5

Hal : 1 / 1

No	N I M	NAMA MAHASISWA	TANGGAL PERTEMUAN							JUMLAH	
			27/5	3/6	10/6	17/6	24/6 ²³	0/7	14/7		21/7
1	20224001	ANDRI SUPARTO	✓	—	✓	—	✓	—	✓	—	
2	22224702	DODIK ADHI KRIS NUGROHO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3	22224703	JIMMYWAL_AMD	✓	✓	—	—	✓	✓	—	✓	

CATATAN :

Perubahan peserta hanya diperkenankan bila ada persetujuan tertulis dari Pelaksana Jurusan.

10/08/2023

Jakarta,

Dosen Pengajar,

(Poedji Oetomo, ST., MT)