



DPP-HPJI
2015-2019

SEKRETARIAT :
Jl. Dharmawangsa Raya No. 125, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12160, Indonesia
Telp. 021-7251864, Fax. 021-7208112, e-mail: dpp_hpji75@yahoo.com, <http://www.hpji.or.id/>



Jakarta, 25 Oktober 2019

Nomor : UM.136/KNTJ-10/DPP-HPJI/X/2019
Lampiran : Jadwal Sidang Teknik KNTJ-10

Kepada Yang Terhormat:

Saudara

1. **Ari Susetyo Widyatmoko**
2. **Endang Widjajanti**
3. **Muhammad Azhar**

di Tempat

Perihal : **Penyampaian Hasil Penilaian Makalah Teknik dan Jadwal Sidang Teknik Konferensi Nasional Teknik Jalan Ke-10 (KNTJ-10) tanggal 4 – 7 November 2019, di Jakarta.**

Dengan hormat kami sampaikan bahwa makalah saudara dengan judul:

“Tinjauan Teknis Dan Ekonomi Terhadap Kinerja Rigid Pavement Dengan Beton Bersubstitusi Kalsium Karbonat (Caco3)”,

telah dinilai oleh Dewan Penilai Makalah KNTJ-10, dan diputuskan bahwa makalah saudara **DITERIMA** dan akan **DISAJIKAN** dalam sidang makalah teknik KNTJ-10 sesuai jadwal sidang terlampir.

Bagi Penulis Makalah yang disajikan akan diberikan fasilitas sebagai berikut:

1. Penyajian makalah selama 20 menit untuk setiap Penulis;
2. Fasilitas sidang yang meliputi LCD Projector dan Note Book (Desk Top) berikut operator;
3. Bebas biaya pendaftaran (1 satu buah undangan) dan akomodasi hotel Mercure, Ancol Jakarta untuk Penulis Utama (sharing dengan penulis utama lainnya), terhitung *check in* 4 November 2019 dan *check out* 7 November 2019, sedangkan biaya perjalanan ditanggung masing-masing penulis.

Selanjutnya seluruh makalah yang kami terima akan dimasukkan ke dalam Prosiding KNTJ-10 yang akan kami daftarkan dalam ISBN dan file-file makalah dapat diunduh melalui link yang tersedia.

Harap mengirimkan bahan paparan (format ppt dan CV Penyaji) serta menginformasikan kehadiran dan nomor HP, untuk memudahkan persiapan persidangan dan akomodasi sampai dengan Jumat 1 November 2019 melalui kntj10jakarta@gmail.com (PIC Persidangan: Rully 081321950693, PIC Akomodasi/Hotel Mercure: Ibu Kenny 0818661098).

Atas perhatian dan kerjasamanya, diucapkan terima kasih.

Dewan Penilai Makalah,

Gatot Soerjatmodjo

Sekretaris

Tembusan kepada Yth:

1. Seksi Persidangan KNTJ-10
2. Seksi Akomodasi KNTJ-10



ISBN : 978-602-72229-4-6

PROSIDING Konferensi Nasional Teknik Jalan ke 10 KNTJ-10

Jakarta, 4 – 7 November 2019
Hotel Mercure, Ancol, Jakarta

Tema :

*“Pembangunan Infrastruktur Jalan dalam Era
Teknologi Industri 4.0”*



HIMPUNAN PENGEMBANGAN JALAN INDONESIA
2019



PROSIDING
KONFERENSI NASIONAL TEKNIK JALAN
(KNTJ) KE-14

Pembangunan Infrastruktur Jalan dalam
Era Teknologi Industri 4.0

Ancol, Jakarta, 4 – 7 November 2019



HIMPUNAN PENGEMBANGAN JALAN INDONESIA
2019

ISBN 978-602-72229-4-6



9 786027 222946



PROSIDING
KONFERENSI NASIONAL TEKNIK JALAN KE-10
Pembangunan Infrastruktur Jalan Dalam Era Teknologi Industri 4.0.
Ancol, Jakarta , 4 – 7 November 2019

ISBN : 978-602-72229-4-6

Susunan Panitia/Steering Committee

Pengarah	: Sugiyartanto, Ir., MT. Gandhi Harapan, Ir., M.Eng. Hermanto Dardak, DR., Ir., M.Eng.
Ketua	: Taufik Widjoyono, Ir., M.Eng.Sc
Wakil Ketua I	: Asep Sudarjat, DR. Ir. MM
Wakil Ketua II	: Sutopo Kristanto, Ir
Sekretaris I	: Heddy R Agah, Ir., M.Eng.
Sekretaris II	: Ade Meinia Karmenita
Bendahara I	: Eko Prastowo, Ir, MM
Bendahara II	: Ratu Cholifah Fitri
Pendanaan	: Sutopo Kristanto, Ir
Koordinator Pelaksana	: Heddy R Agah, Ir., M.Eng.
Ketua DPM	: Gatot Soerjatmodjo, Ir, MT
Persidangan	: Handiyana, ST, M.Sc.
Perumus	: Deded Permadi Syamsuddin, Ir, MEngSc
Kunjungan Teknik	: Made Sukaryawan, Ir
Sekretariat	: Ade Meinia Karmenita
Pameran	: Rachmad Asaad

Editor/Penyunting :

Handiyana Ariepin
Dimas Sigit Dewandaru
Winni Sarfina
Rieka Widyapuspita

Dewan Penilai Makalah/Reviewer:

Ir. Purnomo
Dr. Didik Rudjito
Gatot Soerjatmodjo, Ir, MT
Biemo W Soemardi, PhD, Ir
Sigit Pranowo, Prof DR. Ir.
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc
Dr. Herry Vaza
Ir. Agita Widjajanto, M.Eng.Sc
Prof. Dr. Wimpy Santosa
Ir. Samsi Gunarta, M.Appl.Sc
Prof. Dr. Tri Tjahjono
Ir. Palgunadi, M.Eng.Sc
Ir. Jani Agustin, M.Sc
Ellen SW Tangkudung, Ir, MSc



Cover Design :
Dimas Sigit Dewandaru

Penerbit:
Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia
Jl. Panglima Polim Raya No.125
Kebayoran Baru
Jakarta Selatan
Telp. 021-7251864, Fax. 021-7208112
E-mail : dpp_hpji75@yahoo.com

Cetakan Pertama, 30 Desember 2019
Hak Cipta HPJI



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Redaksi	ii
Prakata	iv

T-1 KEBIJAKAN DAN MANAJEMEN

Kebijakan Standarisasi Pembangunan Rute Jalan Evakuasi Melalui Analisis Peningkatan Laik Fungsi jalan dan Status Gunung Berapi; Parbowo, Agus Bari Sailendra	1
Monitoring Konstruksi Jalan Tol Berbasis Sistem Informasi; Zulaika Budi Astuti, Kamarullah Wajhahu, Hadi Suprayitno, Primawan Avicenna, Herry Trisaputra	17
Manajemen Aset Jalan Khususnya pada Kawasan Rawan Bencana; Hermanto Dardak, Taufik Widjojono, Didik Rudjito, Alfa Adib	27
Revolusi Industri 4.0 Memanifestasikan Revolusi Cara Kerja Yang Lebih Cepat, Akurat, Efisien dan Transparan Dibidang Infrastruktur Jalan dan Jembatan; Danang Atmodjo, Bayu Murtiyoso	40
Smart CCTV And Weigh In Motion (WIM) Integrated System In Indonesian Toll Road; Operation and Management Group, PT Jasa Marga	47
Dampak dan Solusi Akibat Keterlambatan Proyek Konstruksi Jalan di Sumatera Barat; Nasfryzal Carlo, Eva Rita, Nandi, Indra Jaya	56
Asesmen Bahaya Longsor Pada Jalan Raya Berbasis Data Crowd-Source dan Media Online (Studi Kasus Ruas Jalan Kota Batu-Batas Kab. Kediri); Emil Wahyudianto	64
Pengaruh Metode Pemilihan Penyedia Pada Mutu Pekerjaan Jalan; Dian Novitasari, Dewi Atikah, Mochammad Harun	73
Penggunaan Metode Dua Tahap Untuk Menentukan Kadar Optimum Penambahan Kapur Lapis Pondasi Jalan; Franky E. P. Lopian	79

T-2 BAHAN DAN PERKERASAN

Evaluasi Pengaruh Penambahan Plastic Fibre Pada Campuran Aspal dan Beton -Review Paper; Christian Gerald Daniel	88
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----



Analisis Penjadwalan Proyek (Suatu Perbandingan Metode Antara PDM Dan PERT; Yusrizal Lubis, Islamahadi Ahmad	285
Tinjauan Teknis Dan Ekonomi Terhadap Kinerja Rigid Pavement Dengan Beton Bersubstitusi Kalsium Karbonat (Caco3); Ari Susetyo Widyatmoko, Endang Widjanti, Muhammad Azhar	298
Effect Of Limestones On Compressive Strength Of Laterite Soil – Portland Cement Composite; Franky E. P. Lopian, Prabendra Ardhan A	311
Mitigasi Resiko Kegagalan Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Pierhead Pada Infrastruktur Tol Layang Di Daerah Padat Penduduk; Fanny Ardhan, Surya Kusuma, Martha S. Prakoso, R.M. Ichsan F.W	316
Studi Kasus Gempa Palu, Dampak dan Prinsip terhadap Penanganannya Palu Earthquake Case Study, Inducing and principle of its countermeasures; Eddie Sunaryo M, Rudy Febrijanto, Deded P Syamsudin	330
Penanganan Longsoran Dengan Bidang Gelincir Lapisan Batubara Menggunakan Kombinasi Retaining Wall Dan Boredpile Serta Timbunan Mortar Busa; Muhammad Heykal, Greece Maria Lawalata	349
Penerapan Teknologi Hydroseeding Yang Dikombinasikan Dengan Matras Organik Di Lereng Jalan Bebas Hambatan Manado – Bitung; ; Asep Sunandar, Indra A Prananda ...	366
Mitigasi Bahaya Gerusan Aliran Sungai Terhadap Struktur Jembatan; N. Retno Setiati, Joko Purnomo, Ireng Guntorojati	379

T-4 PELAKSANAAN/TEKNOLOGI KONSTRUKSI

Penanganan Pelebaran Perkerasan Jalan Yang Tepat Dan Kokoh Pada Ruas-Ruas Jalan Yang Kondisi Lahannya Terbatas; Joko Purwanto, Sutoyo	396
Strategi Penanganan Jalan Berbasis Kinerja Dalam Upaya Menjamin Pelayanan Prima Selama Umur Rencana; Martin Ma'ruf, Sutoyo	406
Cara Efektif Dan Efisien Menangani Kerusakan Sangat Parah Akibat Repetisi Beban Kendaraan Berat Pada Musim Penghujan; Yudi Widargo, Sutoyo	418
Perancangan Big data Jalan Dan Jembatan Untuk Mendukung Konstruksi 4.0; Dimas Sigit Dewandaru	428
Implementasi Aplikasi Seluler Pada Proses Manajemen Bisnis Proyek Jalan Tol Trans Sumatera; Anisyah Harti, Iwan Hermawan	438
Percepatan Pelaksanaan Proyek Pembangunan Jembatan Musi VI dengan Metode Lifting Rangka Side Span; Patrick Matheus, Tommi Putra Armada, Riandhika Dwi Prasetyo	455



TINJAUAN TEKNIS DAN EKONOMI TERHADAP KINERJA RIGID PAVEMENT DENGAN BETON BERSUBSTITUSI KALSIMUM KARBONAT (CaCO₃)

¹Ari Susetyo Widyatmoko, ²Endang Widjajanti, ³Muhammad Azhar

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil (arisusetyo1902@gmail.com)

²Dosen Pembimbing (wiwin62@gmail.com)

³Dosen Pembimbing (mohazhar62@yahoo.co.id)

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jln. Moch. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah
Jakarta Selatan 12620

Abstrak

Penggunaan perkerasan kaku (Rigid Pavement) sedang digalakkan pemerintah diantaranya melalui program infrastruktur jalan di Indonesia, sehingga akan banyak sekali dibutuhkan semen sebagai campuran beton rigid pavement tersebut. Untuk mengakomodasi kebutuhan semen yang besar, diperlukan alternatif bahan dasar lain sebagai pengganti semen tersebut. Penelitian ini menggunakan bahan dasar limbah cangkang telur yang mengandung CaCO₃ sebagai Kalsium karbonat buatan (KKB) untuk bahan pengganti semen. Pengujian beton dilaksanakan dengan menggunakan prosentase KKB (4 sample) 0%, 5%, 7.5%, 10% untuk mengetahui prosentase KKB optimal yang bisa di gunakan sebagai bahan pengganti semen. Hasil uji kuat tekan, uji lentur dan uji kekerasan permukaan menunjukkan bahwa penambahan KKB memberikan hasil yang memenuhi standar sampai pada penambahan KKB sebesar 5% dan semakin besar prosentase KKB kekuatannya semakin menurun. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa terdapat tiga senyawa yang paling berpengaruh yaitu calcium hydroxide, calcite dan cristobalite, sementara hasil uji SEM menunjukkan bahwa semakin besar prosentase KKB semakin besar terlihat porositasnya. KKB 5% memberikan nilai ekonomis dengan penghematan sebesar 5% (dari volume semen) dan dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengganti semen pada rigid pavement (jalan beton).

Kata Kunci: rigid pavement, cangkang telur, CaCO₃, KKB, efisiensi.

Abstract

The application of Rigid Pavement has been a point of emphasis by the government, specifically used in road infrastructure programs in Indonesia. The demand for cement will skyrocket because it is a key ingredient in making the Rigid Pavement. To accommodate the high demand of cement, the need for other raw materials for the substitute of cement is vital. This research uses calcium carbonate (CaCO₃) in which eggshell wastes contain, and hence used to create artificial calcium carbonate (KKB) for the substitution of cement. The concrete testing on this research is done among the four samples that utilize KKB percentages, which are 0%, 5%, 7.5%, and 10%. The purpose of this test is to identify which amount of KKB percentage is optimal for the substitute for cement. The result of compressive strength test, flexural strength test, and surface strength test shows that the addition of KKB gives a result that meets the standard up until the 5% mark of KKB addition, and as the percentage of KKB increases, the strength decreases. In the XRD testing, it was found that three compounds are the most vital, which are calcium hydroxide, calcite, and cristobalite. The SEM test concludes that as KKB percentage increases, the porosity gets larger and more visible. The 5% KKB gives an economic value with reduction of spendings of 5% (from the volume of cement) and can then be used as an alternative for the substitute of cement on the rigid pavement.

Key Words: rigid pavement, egg shells, CaCO₃, KKB, efficiency.



PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan prasarana transportasi paling dominan di Indonesia. Kebutuhan jalan raya semakin meningkat sesuai peningkatan jumlah pengguna jalan yang berakibat prasarana jalan berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi. Persyaratan dasar suatu perkerasan harus menyediakan lapisan permukaan yang selalu rata, konstruksi yang kuat, sehingga dapat menjamin kenyamanan dan keamanan.

Ada tiga jenis perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan gabungan (*composite pavement*) yaitu perpaduan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Berdasarkan bagi pengguna jalan perencanaan konstruksi perkerasan dibedakan menjadi dua yaitu, perencanaan untuk jalan baru dan untuk peningkatan (jalan lama yang sudah pernah diperkeras).

Pemilihan tipe perkerasan umumnya bergantung pada lapis fondasi yang akan digunakan lingkungan seperti suhu, dan hujan. Perkerasan kaku merupakan salah tipe perkerasan jalan yang umum digunakan pada kondisi tanah dasar lunak karena dapat mengantisipasi penurunan yang terjadi secara tidak seragam (*differential settlement*) pada arah melintang maupun memanjang trase jalan sebagai akibat distribusi beban yang tidak merata sepanjang badan perkerasan jalan dan akibat tanah yang tidak homogen.

Beberapa keunggulan *rigid pavement* adalah *Job mix* lebih mudah dikendalikan kualitasnya. Modulus elastisitas antara lapis permukaan dan fondasi sangat berbeda. Selain itu, umur rencana dapat mencapai 20 tahun dengan indeks pelayanan tetap baik hampir selama umur rencana, terutama jika *tranverse joint* dikerjakan dan dipelihara dengan baik. Keunggulan lain yang dimiliki oleh *rigid pavement* yaitu biaya pemeliharaan relatif tidak ada. Kekuatan konstruksi perkerasan kaku lebih ditentukan oleh kekuatan pelat beton sendiri (tanah dasar tidak begitu menentukan kekakuan) sehingga jika dibangun di atas tanah dengan kapasitas rendah, kekuatan *rigid pavement* tidak begitu terpengaruh.

Konstruksi *rigid pavement* banyak digunakan pada kondisi tanah dasar yang memiliki kapastias daya dukung yang relatif rendah, atau pada tanah dengan kapasitas daya dukung yang tidak seragam. Dengan sifat kekakuannya *rigid pavement* mampu menahan beban berat dan kemudian menyebarkannya ke tanah dasar secara efisien. Beton yang unggul dalam menahan tekan menjadi andalan *rigid pavement* dalam menahan beban yang bekerja. Perkerasan dengan *rigid pavement* tersebut membutuhkan banyak bahan semen yang dimana setelah diteliti persentase tertinggi dalam kandungan semen tersebut adalah bahan kalsium karbonat (CaCO_3).

Sementara itu, terkait dengan limbah perlu dilakukan penanganan agar kualitas lingkungan tetap terjaga, salah satunya limbah yang banyak menyebabkan persoalan adalah limbah makanan yang didalamnya terdapat makanan *seafood* dan limbah penggunaan telur dalam racikan makanan. Limbah tersebut sebenarnya mengandung kalsium karbonat. Potensi limbah tersebut dapat dilihat dari produksinya seperti produksi telur ayam tahun 2016 sebesar $\pm 3,5$ Juta ton apabila diasumsikan limbah cangkang telur tersebut 10% saja maka akan ada 350.000 ton yang bisa digunakan untuk pemanfaatan menjadi bahan yang bisa digunakan kembali sebagai bahan campuran yang bisa mengurangi limbah tersebut.

Kalsium karbonat adalah zat yang umum ditemukan pada bebatuan di semua bagian bumi dan merupakan komponen utama dari cangkang organisme laut, kerang, siput, batu karang, mutiara, dan cangkang telur.

Menurut penelitian sebelumnya bahwa kadar prosentase kalsium karbonat (CaCO_3) pada cangkang telur sebesar 95% dan kadar yang lebih kecil juga terdapat pada cangkang kerang dan kepiting (limbah *seafood*), hal ini perlu dilakukan pengujian kembali (*primary test*) untuk mendapatkan hasil yang akan dipergunakan dalam penelitian lanjutan terhadap *rigid pavement*.

Penelitian ini merupakan keinginan untuk mengurangi limbah sisa makanan terutama limbah *seafood* dan limbah telur yang digunakan untuk racikan makanan, dimana limbah diatas banyak mengandung Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang merupakan bahan dasar juga dari semen. Kemungkinan bahan campuran ini bisa mengurangi komponen semen yang



terdapat dalam mix design beton yang akan digunakan dalam konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Penggunaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) ini yang sedang digalakkan pemerintah dengan program infrastruktur jalan diberbagai pulau di wilayah Indonesia, karena perkerasan kaku ini tidak membutuhkan perawatan yang besar (*less maintenance*). Sejalan dengan program infrastruktur pemerintah ini maka akan banyak sekali dibutuhkan semen sebagai campuran beton rigid pavement tersebut, sehingga perlu adanya efisiensi menggunakan bahan dasar lain untuk mengurangi kebutuhan akan semen tersebut.

1. KAJIAN PUSTAKA

1.1. Beton

Beton adalah pencampuran antara semen portland, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang homogen sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan. Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya.

Beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan memengaruhi sifat-sifat beton (Wuryati, 2001).

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*).

Semen Portland adalah bahan berupa bubuk halus yang mengandung kapur (CaO), Silika (SiO₂), Alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃). Komponen terbesar penyusun semen adalah kapur (60%-65%). Semen portland dibuat dengan cara membakar bahan dasar semen menjadi klinker yang kemudian digiling halus menjadi semen dan ditambahkan gypsum. Semen merupakan unsur terpenting dalam pembuatan beton, karena semen berfungsi sebagai bahan pengikat untuk mempersatukan bahan agregat kasar dan agregat halus menjadi satu massa yang kompak dan padat. Semen akan berfungsi sebagai pengikat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis.

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini menempati sebanyak 60%-80% dari volume mortar atau beton. Meskipun hanya sebagai bahan pengisi, tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat mortar atau beton. Bentuk, tekstur, dan gradasi agregat mempengaruhi sifat pengikatan dan pengerasan beton segar. Sedangkan sifat fisik, kimia, dan mineral mempengaruhi kekuatan, kekerasan dan ketahanan dari beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan mortar atau beton.

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan beton, karena air diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Air juga diperlukan untuk menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan. Menurut Kole dan Kusuma (1993), semen dapat mengikat air sekitar 40% dari beratnya. Dengan kata lain, air sebanyak 0,4 dari berat semen sudah cukup untuk membuat seluruh semen berhidrasi. Campuran air yang berlebihan dapat menurunkan kualitas beton. Pada beton, semen dan air yang berupa pasta akan mengikat agregat. Ruang yang tidak ditempati butiran semen maupun agregat akan berupa rongga yang berisi air dan udara. Rongga-rongga yang terbentuk akan tetap tinggal ketika beton telah mengeras, yang berakibat pada penurunan kualitas beton.



1.2. Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat berwarna putih dan sering dijumpai pada batu kapur, kalsit, marmer, dan batu gamping. Kalsium karbonat juga banyak terdapat pada stalaktit dan stalagmit yang terdapat di sekitar pegunungan. Kalsium Karbonat yang terdapat pada stalaktit dan stalagmit berasal dari tetesan air tanah selama ribuan bahkan jutaan tahun. Kalsium karbonat terdiri dari 2 unsur kalsium dan 1 unsur karbon dan 3 unsur oksigen. Setiap unsur karbon terikat kuat dengan 3 oksigen, dan ikatan ini ikatannya lebih longgar dari ikatan antara karbon dengan kalsium pada satu senyawa. Kalsium karbonat bila dipanaskan akan pecah dan menjadi serbuk remah yang lunak yang dinamakan Kalsium Oksida (CaO).

Cangkang telur tersusun atas struktur berlapis tiga, yaitu lapisan kutikula, lapisan sponge (busa) dan lapisan lamellar. Lapisan kutikula merupakan protein transparan yang melapisi permukaan cangkang telur. Lapisan ini melapisi pori-pori pada cangkang telur, tetapi sifatnya masih dapat dilalui gas sehingga keluarnya uap air dan gas CO₂ masih dapat terjadi (Rivera, 1999).

Komposisi utama dalam cangkang ini adalah kalsium karbonat (CaCO₃) sebesar 94% dari total bobot keseluruhan cangkang, kalsium fosfat (1%), bahan-bahan organik (4%) dan magnesium karbonat (1%) (Rivera, 1999). Berdasarkan hasil penelitian, serbuk cangkang telur ayam mengandung kalsium sebesar 401 ± 7,2 gram atau sekitar 39% kalsium, dalam bentuk kalsium karbonat. (Schaafsma, 2000).

Limbah cangkang telur ini banyak ditemukan sebagai limbah dari rumah tangga, limbah pengusaha kecil seperti tukang martabak dan limbah produksi besar seperti pabrik kue, roti dan lain-lain. Kalsium karbonat buatan (KKB) merupakan hasil pengolahan dari limbah padat cangkang telur. Dari penelitian sebelumnya, kalsium karbonat bisa dimanfaatkan untuk produksi beton. Pada kadar tertentu kuat tekan beton dengan replacement sebagian semen masih memberikan nilai-nilai kenaikan kuat tekan beton.

Pembuatan powder dari limbah cangkang telur menggunakan alat dan metode yang sederhana. Limbah cangkang telur dipilah dan dibersihkan sehingga kondisi limbah dalam keadaan yang bersih. Pembersihan dilakukan agar cangkang telur sebisa mungkin tidak mengandung bahan lain di luar kandungan yang akan digunakan. Tahapan selanjutnya adalah pengeringan. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan panas matahari. Namun apabila panas matahari tidak memungkinkan, cangkang telur dapat dikeringkan menggunakan oven. Kondisi yang diharapkan dari proses pengeringan ini adalah cangkang telur kering dan bersih dari bahan lain yang tidak digunakan. Selama proses pengeringan, bahan lain yang kemungkinan terdapat pada cangkang telur dibersihkan. Setelah cangkang telur dalam kondisi kering, maka cangkang siap untuk dihaluskan menjadi bentuk powder. Sebelum proses penghancuran, cangkang telur dipilah lagi agar mendapatkan cangkang telur yang kering dan bebas dari bahan lain yang tidak diperlukan.

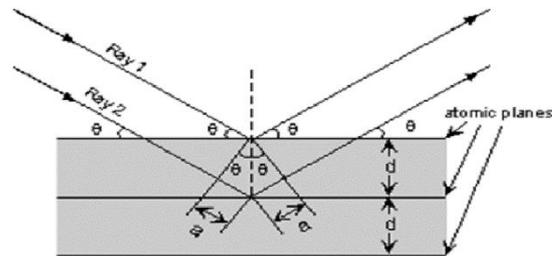
Penghancuran cangkang dilakukan dengan mesin penghancur sederhana yaitu blender atau pun mesin penghancur kopi. Cangkang telur yang dihancurkan harus benar-benar kering dan bersih dari bahan lain. Penghancuran cangkang dilakukan hingga bubuk cangkang lolos dari ayakan no.200 dari ayakan analisis gradasi. Ukuran bubuk tersebut adalah seukuran filler dan seukuran semen. Hasil akhir dari proses pembuatan powder ini adalah bubuk seukuran semen dan filler yang lolos dari ayakan no.200.

1.3. XRD (X-Ray Defraction)

X-Ray Difrraction yang lebih dikenal dengan XRD adalah metode yang digunakan untuk analisis komposisi senyawa pada material dan juga karakterisasi Kristal. Prinsip XRD adalah mendifraksi cahaya sinar-X yang melalui celah Kristal. XRD ditemukan oleh Max Von Laue pada tahun 1913 dan dikembangkan oleh Bragg. Penemuan XRD menjadi salah satu metode baku dalam penentuan karakteristik material. Difraksi sinar-X digunakan untuk mempelajari struktur, komposisi, dan sifat fisik material.

Karakterisasi XRD bertujuan untuk menentukan sistem kristal. Metode difraksi sinar-X dapat menerangkan parameter kisi, jenis struktur, susunan atom yang berbeda pada kristal,

adanya ketidaksempurnaan pada kristal, orientasi, butir-butir dan ukuran butir (Smallman, 1991).



Gambar 48. Difraksi Sinar X

Difraksi serbuk sinar X paling banyak digunakan untuk identifikasi bahan kristal yang tidak diketahui (misalnya mineral, senyawa anorganik). Penentuan padatan yang tidak diketahui sangat penting untuk dipelajari di bidang geologi, ilmu lingkungan, ilmu material, teknik dan biologi.

Dengan kata lain, XRD adalah suatu metode analisis untuk mengidentifikasi fasa kristalin material (pengecekan terhadap sampel apakah masih dalam bentuk amorf atau sudah dalam bentuk kristal). Cara yang digunakan adalah dengan menentukan parameter struktur kisi dan mendapatkan ukuran partikel. Profil XRD dapat memberikan data kualitatif dan semi kuantitatif pada padatan atau sampel. XRD digunakan untuk Pengukuran jarak rerata antar lapisan atau baris atom, Penentuan kristal tunggal, Penentuan struktur kristal dari material yang tidak diketahui dan Mengukur bentuk, ukuran, dan tegangan dalam kristal kecil.

1.4. Scanning Electron Microscope (SEM)

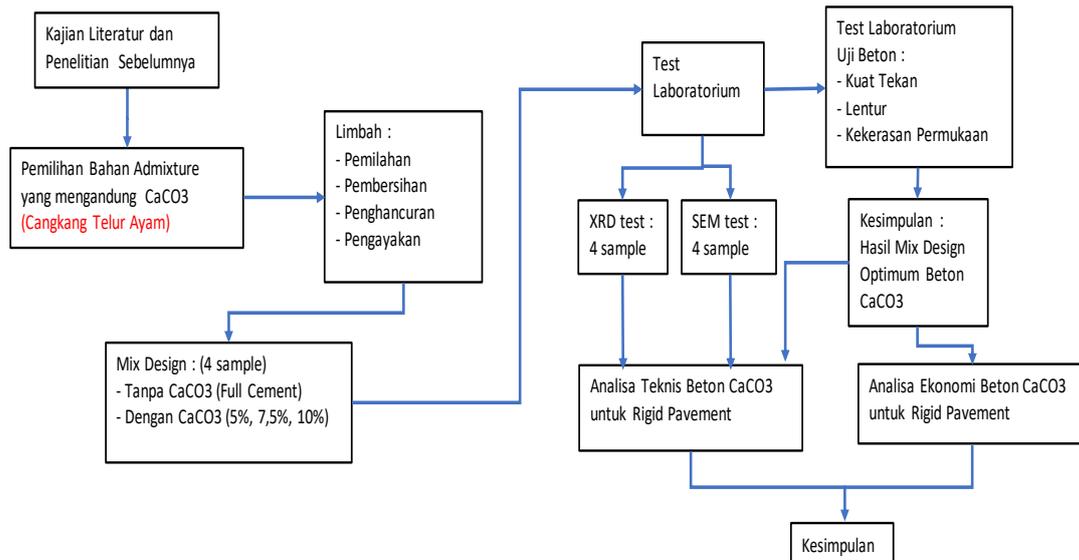
Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, depth of field 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, depth of field yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. SEM digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai Topografi (permukaan dan teksturnya), Morfologi (bentuk dan ukuran partikel), Komposisi (kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung) dan Informasi kristalografi (susunan butir-butir).

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

Kemudian electron beam difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah condenser lens. Condenser lens kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan beam dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm. Hamburan elektron, baik Secondary Electron (SE) atau Back Scattered Electron (BSE) dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dibagi menjadi empat tahapan yaitu persiapan, pengujian, analisa dan hasil. Tahapan persiapan dilakukan untuk mengkaji literature dan penelitian sebelumnya untuk menentukan prosentase bahan admixture yang dipakai dan mempersiapkan bahan bahan yang dipakai untuk pembuatan beton. Tahapan ke pengujian ini dilakukan untuk kegiatan di dalam laboratorium untuk membuat benda uji beton (*mix design*) dan pengujian beton dengan KKB 0%, 5%, 7,5% dan 10%, pengujian beton yang dilakukan ada 5 yaitu uji kuat tekan, uji kekerasan permukaan, uji lentur, XRD dan SEM. Tahapan analisa dilakukan untuk menganalisa hasil pengujian beton. Tahapan hasil dilakukan untuk menyimpulkan dari hasil analisa hasil pengujian. Berikut bagan alir metodologi untuk penelitian ini:



Gambar 49. Metodologi penelitian

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Bahan

Agregat halus yang digunakan adalah Pasir Progo. Agregat kasar menggunakan kerikil berupa batu pecah dari Sungai Clereng. Sedangkan semen yang digunakan adalah semen dengan Merek Semen Gresik. Beton dibuat dengan menambahkan Kalsium Karbonat Buatan (KKB) yang berasal dari limbah cangkang telur ayam. Uji bahan penyusun beton dilaksanakan di Laboratorium Bahan Universitas Negeri Yogyakarta. Uji kuat tekan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Universitas Negeri Yogyakarta. Uji kekerasan permukaan dan pengujian lentur dilaksanakan di Laboratorium Bahan Universitas Gadjah Mada. Uji XRD (X Ray Diffraction) dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Yogyakarta. Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilaksanakan di LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) Yogyakarta.

Dari hasil pengujian di dapat kesimpulan untuk pasir dan kerikil harus di cuci terlebih dahulu sebelum di gunakan untuk beton karena kadar lumpur dari pasir dan kerikil melebihi syarat maksimum yang di tentukan. Berikut hasil rekapitulasi pengujian bahan:

**Tabel 2. Rekapitulasi pengujian bahan**

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
Agregat Halus			
1	Kadar Air Alami	7,93 %	> Kadar air SSD
2	Kadar Air SSD	5,17 %	
3	Gradasi Agregat Halus	Zone 3	Pasir agak halus
4	Kadar Lumpur	10,39 %	Melebihi syarat 5%
5	Bobot Isi Gembur	2,13 %	
6	Bobot Isi Padat	2,32 %	
7	Berat Jenis		
	a. Berat Jenis Kering	2,40 kg/m ³	
	b. Berat Jenis SSD	2,47 kg/m ³	
Agregat Kasar			
1	Kadar Air Alami	2,065 %	> Kadar air SSD
2	Kadar Air SSD	1,28 %	
3	Gradasi Agregat Kasar Campuran	40 mm	
4	Kadar Lumpur	1,965 %	Melebihi syarat 1%
5	Bobot Isi Gembur	1,42 kg/liter	
6	Bobot Isi Padat	1,81 kg/liter	
7	Pengujian Berat Jenis		
	a. Berat Jenis Kering	2,56 kg/m ³	
	b. Berat Jenis SSD	2,60 kg/m ³	

3.2. Pengujian Kuat Tekan

Beton dibuat dengan f_{cr} 30 MPa. Penambahan KKB tersebut bertujuan sebagai langkah awal untuk meneliti bahan tambah alternatif dalam pembuatan beton. Variasi pembuatan benda uji yaitu dengan penambahan KKB sebesar 0%, 5%, 7,5%, dan 10%. Jumlah silinder beton yang dibuat adalah 10 buah silinder dan 3 buah benda uji kubus untuk masing-masing variasi penambahan KKB. Benda uji diuji pada umur 7 hari sebanyak 3 benda uji. Benda uji diuji pada umur 14 hari sebanyak 3 benda uji. Benda uji diuji pada umur 28 hari sebanyak 4 benda uji. Dan 3 benda uji kubus diuji pada umur 28 hari.

Hasil Kuat tekan beton dengan KKB 0% pada umur 28 hari secara berturut-turut yaitu 35,4 MPa; 33,9 MPa; 30,1 MPa; dan 35,9 MPa. Rerata kuat tekan yang didapat yaitu 33,8 MPa. Kuat tekan ini mencapai angka yang direncanakan.

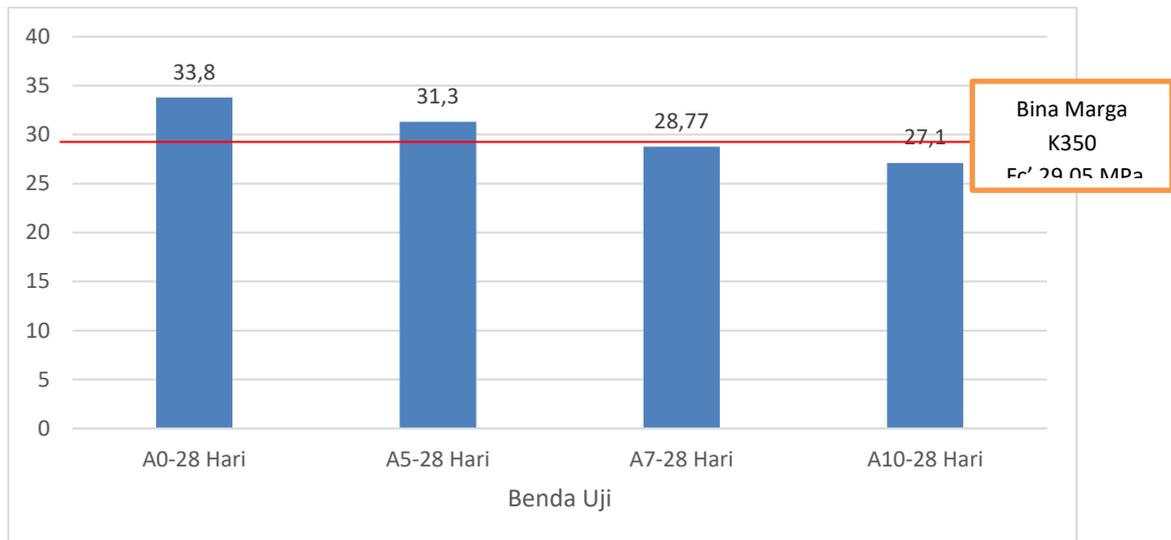
Hasil Kuat tekan beton dengan KKB 5% pada umur 28 hari secara berturut-turut yaitu 29,1 MPa; 27,9 MPa; 32,1 MPa; dan 35,9 MPa. Rerata kuat tekan yang didapat yaitu 31,3 MPa. Kuat tekan ini mencapai angka yang direncanakan.

Hasil Kuat tekan beton dengan KKB 7,5% pada umur 28 hari secara berturut-turut yaitu 26,43 MPa; 29,99 MPa; 28,67 MPa; dan 29,99 MPa. Rerata kuat tekan yang didapat yaitu 28,77 MPa. Kuat tekan tersebut tidak mampu mencapai angka yang direncanakan.

Hasil Kuat tekan beton dengan KKB 10% pada umur 28 hari secara berturut-turut yaitu 28,9 MPa; 23,4 MPa; 30,6 MPa; dan 25,6 MPa. Rerata kuat tekan yang didapat yaitu 27,1 MPa. Kuat tekan tersebut tidak mampu mencapai angka yang direncanakan.

Rerata kuat tekan beton tersebut menunjukkan bahwa beton dengan KKB 0% dan 5% memiliki nilai kuat tekan yang berada diatas kuat tekan rencana. Sedangkan nilai kuat tekan beton dengan KKB 7,5% dan 10% memiliki kuat tekan yang berada dibawah kuat tekan rencana. Kuat tekan rencana sesuai pada rancangan adukan beton yaitu 30 MPa.

Jadi nilai optimal penggantian sebagian semen portland dengan KKB jika ditinjau dari kuat tekan pada umur 28 hari yaitu sebesar 5% yang bisa di gunakan Bina Marga untuk beton jalan K350.

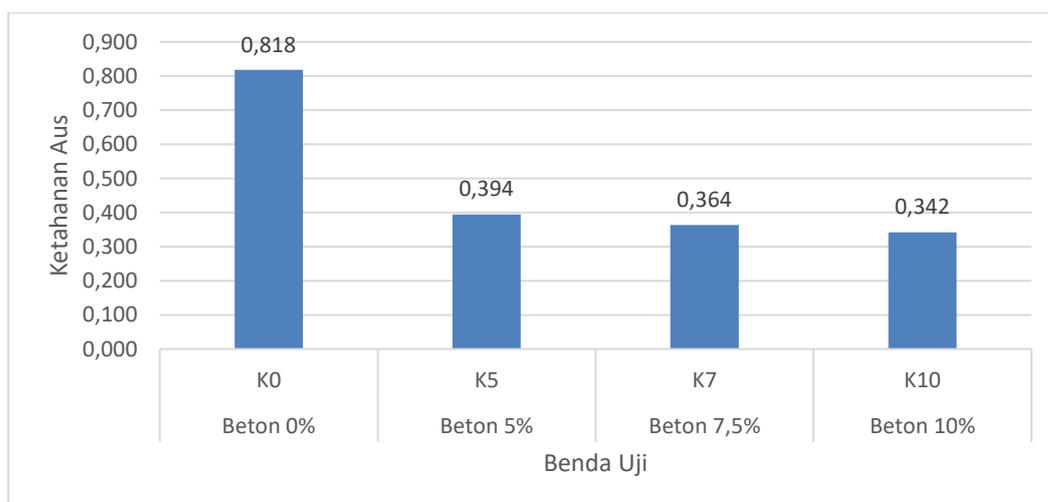


Gambar 50. Diagram Batang Kuat Tekan Beton dengan KKB 0% - 10% umur 28 hari

3.3. Pengujian Kekerasan Permukaan Beton

Benda uji yang diuji pada pengujian kekerasan permukaan beton yaitu 6 benda uji untuk masing-masing variasi penambahan KKB berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm.

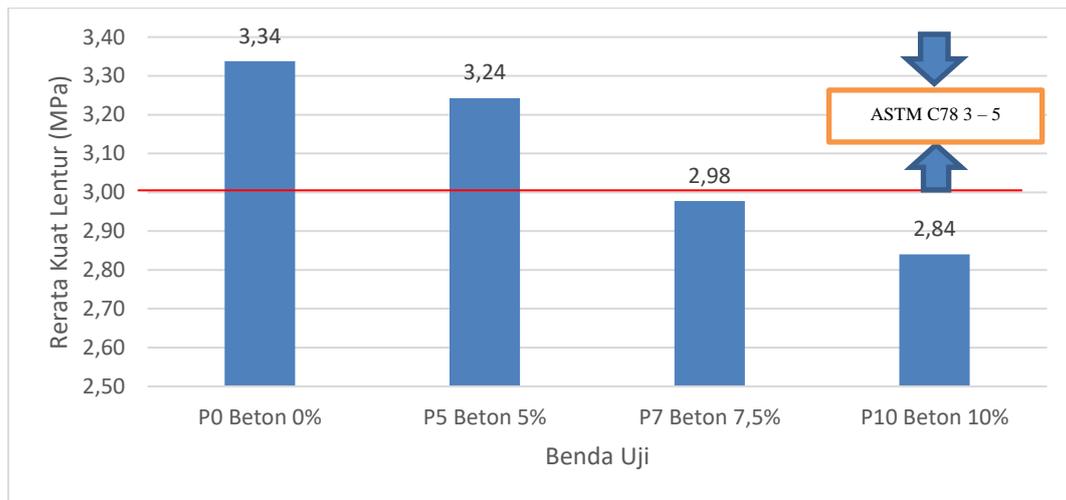
Nilai Ketahanan aus yang didapatkan dari beton dengan KKB 0% adalah yang paling tinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa beton 0% memiliki kekerasan permukaan yang paling rendah. Sedangkan beton dengan KKB menunjukkan peningkatan kekerasan permukaan. Diperkirakan penggantian sebagian semen dengan KKB pada beton mengakibatkan peningkatan kekerasan permukaan beton.



Gambar 51. Diagram Batang Kekerasan Permukaan Beton

3.4. Pengujian Lentur Beton

Hasil rerata kuat lentur beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut adalah 3,34 MPa; 3,24 MPa; 2,98 MPa; dan 2,84 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa beton dengan KKB 0% memiliki ketahanan terhadap lentur yang lebih baik daripada beton dengan KKB dan KKB 5% masuk dalam syarat ASTM C78 untuk kuat lentur yang di syaratkan sedangkan KKB 7,5% dan 10% tidak memenuhi syarat ASTM C78. Namun perbedaan antara beton tanpa KKB dengan beton dengan KKB tidak terlalu jauh. Diperkirakan penggunaan KKB tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat lentur beton. Sesuai yang tercantum dalam ASTM C78, kuat lentur beton untuk konstruksi Rigid Pavement adalah 3 – 5 MPa.



Gambar 52. Diagram Kuat Lentur Beton

3.5. Pengujian XRD (X - RAY DEFRACTION)

Pengujian XRD yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa beton sudah mengalami kristalisasi. Pola difraksi yang didapatkan dari uji XRD menunjukkan beberapa peak. Sumbu y menunjukkan intensitas peak dan sumbu x menunjukkan sudut difraksi. Data pengujian bahwa pada umur 28 hari peak yang didapat dari semua benda uji menunjukkan sudah mengalami pengerasan hingga mencapai fase kristalisasi dan terlihat munculnya senyawa baru. Tidak terdapat perbedaan yang mencolok pada semua benda uji. Diperkirakan semua variasi telah mencapai pengerasan yang sama pada umur 28 hari yaitu telah mengalami kristalisasi. Rekapitulasi peak sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Uji XRD

No	Beton Kadar KKB (%)	Peak			Keterangan
		7 hari	14 hari	28 hari	
1	0	-	4	6	
2	5	6	10	5	
3	7,5	5	2	3	
4	10	-	-	5	

Data senyawa yang muncul dalam pengujian XRD didapat pada sample KKB 0% terdapat hanya 3 senyawa sementara sample KKB 5% muncul 7 senyawa dan KKB 7,5% muncul 8 senyawa sedangkan sample KKB 10% tidak terbaca datanya. Berdasarkan acuan data senyawa yang timbul pada sample beton tanpa tambahan KKB (0%), didapat bahwa data senyawa tersebut muncul juga pada sample beton dengan kondisi KKB 5% dan KKB 7,5% sedangkan di kondisi KKB 10% tidak terbaca datanya.

Tabel 4. Senyawa yang berpengaruh

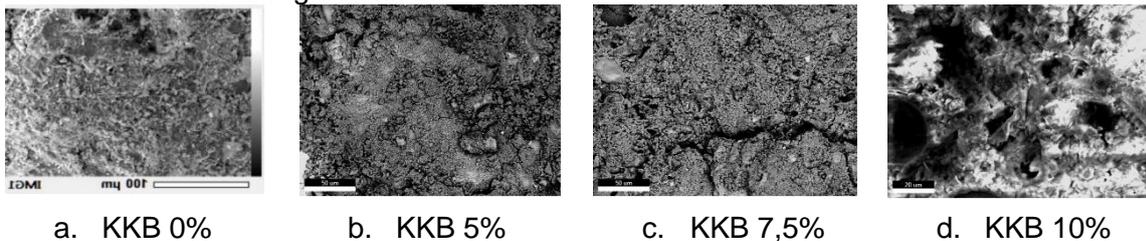
Senyawa yang Timbul	Rumus Senyawa	Sample KKB 0%	Sample KKB 5%	Sample KKB 7,5%	Sample KKB 10%
Calcium Hydroxide	Ca(OH) ₂	36	40	55	-
Calcite	Ca(CO ₃)	31	31	29	-
Cristobalite	SiO ₂	27	21	12	-

Didapatkan 3 senyawa yang berpengaruh terhadap kekuatan beton, yaitu Calcium Hydroxide (Ca(OH)₂) semakin besar prosentase KKB akan semakin lemah kekuatan beton, Calcite (CaCO₃) ada penurunan dengan ditambahkannya KKB tapi tidak signifikan, dan Cristobalite (SiO₂) semakin kecil prosentase KKB akan semakin lemah kekuatan beton.

Dimana terbentuknya senyawa diatas menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan beton untuk kuat tekan dan kuat lentur sejalan dengan test fisik beton di laboratorium yang mengalami penurunan ketika ditambahkan prosentase KKB.

3.6. Pengujian SEM (SCANNING ELECTRON MICROSCOPE)

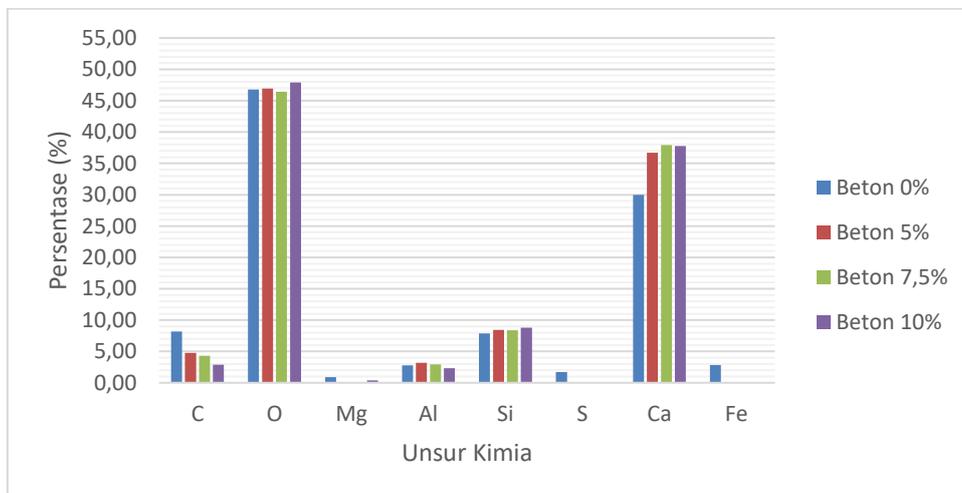
SEM dilakukan dengan cara memindai sampel beton hingga ukuran mikroskopis. Beton diamati dengan pembesaran 5.000x. Area yang dipilih untuk diamati kemudian discan agar terlihat unsur kimia yang terdapat dalam area tersebut. Hasil pengamatan pada area permukaan beton sebagai berikut:



Gambar 53. Pengamatan area untuk melihat porositas

Dari Area pengamatan (SEM) terlihat porositas terbesar dan terbanyak terjadi pada beton dengan KKB 10% berbanding lurus dengan komposisi penambahan KKB, makin berkurangnya penambahan KKB ini makin terlihat lebih padat. Indikasi terjadinya porositas disebabkan oleh besarnya butiran KKB yang lebih besar dari pada butiran semen sehingga akan terjadi banyak rongga-rongga udara yang masuk ke dalam beton.

Persentase massa adalah berat unsur kimia dari keseluruhan unsur kimia pada beton yang diamati.

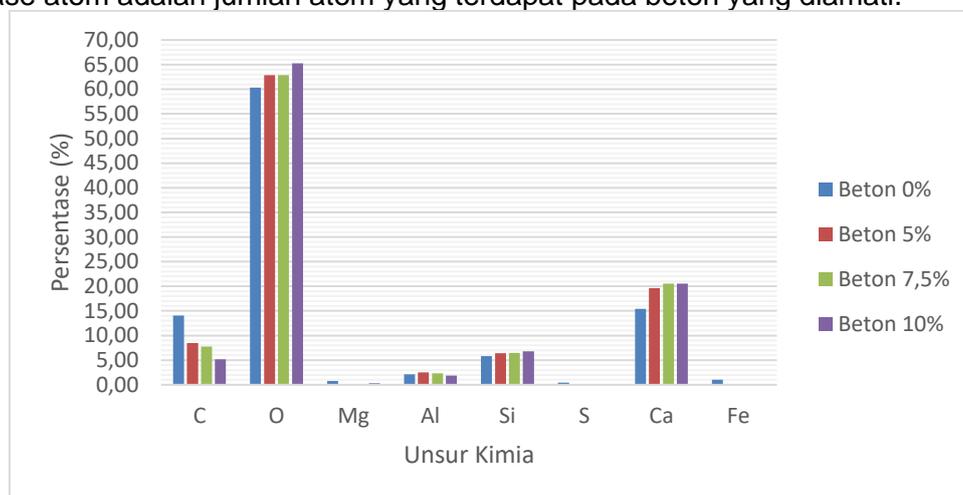


Gambar 54. Diagram Batang Persentase Massa Beton

Unsur kimia yang terdeteksi oleh alat SEM tercatat dan diamati. Proses scanning unsur kimia yaitu dengan menembakkan sinar ke atom. Unsur yang tercatat yaitu pantulan energi yang diterima dari kulit atom K.

Presentase massa unsur kimia C yang terdeteksi pada beton pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 8,16%; 4,77%; 4,32%; dan 2,87%. Unsur kimia O yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 46,76%; 46,93%; 46,41%; dan 47,92%. Unsur kimia Mg terdeteksi pada beton dengan KKB 0% sebesar 0,91% dan pada beton dengan KKB 10% sebesar 0,37%. Unsur kimia Al yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 2,78%; 3,21%; 2,95%; dan 2,3%. Unsur kimia Si yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 7,89%; 8,38%; 8,42%; dan 8,79%. Unsur kimia S hanya terdeteksi pada beton dengan KKB 0% yaitu sebesar 0,70%. Unsur kimia Ca yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 30,00%; 36,68%; 37,94%; dan 37,75%. Unsur kimia Fe hanya terdeteksi pada beton dengan KKB 0% yaitu sebesar 2,81%.

Persentase atom adalah jumlah atom yang terdapat pada beton yang diamati.



Gambar 55. Diagram Batang Persentase Atom Beton

Presentase atom unsur kimia C yang terdeteksi pada beton pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 14,03%; 8,51%; 7,8%; dan 5,21%. Unsur kimia O yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 60,34%; 62,89%; 62,86%; dan 65,26%. Unsur kimia Mg terdeteksi pada beton dengan KKB 0% sebesar 0,77% dan pada beton dengan KKB 10% sebesar 0,33%. Unsur kimia Al yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 2,13%; 2,55%; 2,36%; dan 0,33%. Unsur kimia Si yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 5,80%; 6,43%; 2,36%; dan 1,86%. Unsur kimia S hanya terdeteksi pada beton dengan KKB 0% yaitu sebesar 0,45%. Unsur kimia Ca yang terdeteksi pada beton dengan KKB 0%; 5%; 7,5%; dan 10% secara berturut-turut yaitu 15,45%; 19,62%; 20,51%; dan 20,52%. Unsur kimia Fe hanya terdeteksi pada beton dengan KKB 0% yaitu sebesar 1,04%.

3.7. Tinjauan Ekonomi

Biaya pembuatan lapisan Permukaan Rigid pavement (jalan beton) dihitung berdasarkan tebal beton 30 cm, lebar konstruksi jalan tol 12,5 meter terdiri dari lebar jalur 7,5 meter (2 lajur 1 arah), lebar bahu jalan sisi luar 3,5 meter serta sisi dalam selebar 1,5 meter. Untuk Panjang jalan tol 1 km didapatkan jumlah beton yang digunakan setara dengan 8.737.500 Kg (Bj 2,33 Ton/m³).

Dari hasil perhitungan biaya seperti disajikan pada Tabel 4 terlihat bahwa penggunaan KKB 5% (limbah cangkang telur) memiliki nilai efisiensi sebesar Rp. 105.000.000 (seratus Lima Juta rupiah) per Km.

Tabel 5. Perbandingan Biaya Beton Tanpa dan Dengan KKB

Komponen	Kebutuhan	Prosentase	Kebutuhan Konstruksi Jalan Beton 1 KM	Sample KKB - 0%		Sample KKB - 5%		Sample KKB - 7,5%		Sample KKB - 10%	
	1 M3 Beton	(%)		Semen	KKB	Semen	KKB	Semen	KKB	Semen	KKB
Aggregat Kasar	1.000	43%	3.750.000								
Aggregat Halus	667	29%	2.501.250								
Semen (Filler)	448	19%	1.680.000	1.680.000,0	-	1.596.000,0	84.000,0	1.554.000,0	126.000,0	1.512.000,0	168.000,0
Air	215	9%	806.250								
Total	2.330	100%	8.737.500								
Asumsi Harga Semen per Kg :											
1.250				Rp 2.100.000.000	Rp -	Rp 1.995.000.000	Rp -	Rp 1.942.500.000	Rp -	Rp 1.890.000.000	Rp -
Efisiensi Per Km (Terhadap Sample KKB 0%) atau Beton Konvensional :											
						Rp 105.000.000	Rp -	Rp 157.500.000	Rp -	Rp 210.000.000	Rp -

4. KESIMPULAN

Pengujian dengan substitusi KKB dari cangkang telur 0% dan KKB 5% memiliki kuat tekan sesuai dengan kuat tekan rencana di $F_c' 30$ MPa dan kuat lentur rencana di ASTM C78 untuk konstruksi Rigid pavement 3 – 5 MPa, sedangkan beton dengan KKB 7,5% dan 10% rerata nilai kuat tekan dan kuat lenturnya berada dibawah rencana. Pengujian kekerasan permukaan memberikan hasil beton dengan KKB memiliki nilai kekerasan permukaan yang lebih baik daripada beton tanpa KKB.

Hasil pengujian XRD terlihat tiga senyawa dominan yaitu Calcium Hydroxide, Calcite, Cristobalite. Ketiga senyawa ini menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan beton untuk kuat tekan dan kuat lentur sejalan dengan test fisik beton di laboratorium yang mengalami penurunan ketika ditambahkan prosentase KKB.

Hasil pengamatan dengan scanning electron microscope (SEM) dilakukan pada beton umur 28 hari menunjukkan bahwa unsur kimia yang terdeteksi pada semua benda uji yaitu C, O, Al, Si, dan Ca. Mg terdeteksi pada beton dengan KKB 0% dan 10%. Sedangkan unsur S dan Fe hanya terdeteksi pada beton dengan KKB 0%. Diperkirakan penggunaan KKB telah memengaruhi unsur kimia di dalam beton sehingga terdapat perbedaan hasil pindai terhadap unsur kimia yang terkandung. Dari hasil pengamatan permukaan terlihat porositas terbesar dan terbanyak terjadi pada beton dengan KKB 10% berbanding lurus dengan komposisi penambahan KKB, makin berkurangnya penambahan KKB ini makin terlihat lebih padat. Indikasi terjadinya porositas disebabkan oleh besarnya butiran KKB yang lebih besar dari pada butiran semen sehingga akan terjadi banyak rongga-rongga udara yang masuk ke dalam beton.

Nilai optimum penggunaan KKB adalah 5% dari prosentase semen.-Penggunaan KKB dari limbah cangkang telur) sebesar maksimal 5% menghemat biaya sebesar Rp. 105.000.000 (seratus Lima Juta rupiah) per Km.

5. SARAN

Diperlukan penelitian lanjutan terhadap ukuran butiran hasil pengayakan yang lolos saringan #200 (ukuran mikro) dibandingkan dengan ukuran semen sebenarnya mengingat penghancuran dan penghalusan limbah cangkang telur tersebut menggunakan peralatan yang sederhana bukan proses mekanisasi pabrikasi. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap prosentase KKB 1% - 4% dan 6% - 7% untuk mendapatkan nilai test Fisik dan Kimia Beton.

Diperlukan penelitian lanjutan dalam pelaksanaan pengumpulan dan proses pembuatan KKB dari limbah cangkang telur meliputi penyimpanan, pemilahan, pembersihan, penghancuran, penghalusan serta proses pengayakan dan penyimpanan sebelum digunakan. Diperlukan perhitungan biaya produksi biaya produksi yang lebih rinci.



UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada rekan-rekan yang telah membantu penyelesaian tesis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aly, M.A. 2004. Teknologi Perkerasan Beton Semen, Yayasan Pengembangan Teknologi dan Manajemen, Jakarta.
- Bowles, J.E. 1997. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill.
- Delatte, N. 2008. Concrete Pavement Design, Construction and Performance. Taylor & Francis. New York. USA.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2013. Manual Desain Perkerasan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Gere dan Timoshenko. 2000. Mekanika Bahan, Jilid 2 Edisi ke 4, Erlangga, Jakarta.
- Hamirhan S. 2005. Konstruksi Jalan Raya. Nova, Bandung.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. Perencanaan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah. Gamapress. Yogyakarta.
- Hilyanto, R.H., Setiawan, B., Surjandari N.S. 2013. Simulasi Perilaku Pelat Beton Sebagai Perkerasan Kaku di Atas Tanah Subgrade Saradan Menggunakan Metode Elemen Hingga. e-jurnal matriks teknik sipil, vol. 1, no. 4, pp 424-431.
- Huang, H. Y. 2004. Pavement Analysis and Design. University of Kentucky, Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey, U.S.A.
- NCHRP. 2004. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Transportation Research Board National Research Council. ARA, Inc. ERES Consultants Division 505 West University Avenue Champaign. Illinois.
- Priyosulistyo, HRC. 2010. Struktur Beton Bertulang I. Biro Penerbit, Yogyakarta
- Su, Y., Xin, S., Shi, J., Zhang, Z. 2012. Stress Analysis of Cement Concrete Pavement with Special Heavy Mine Vehicle. Energy Procedia, no.16, pp 722-729.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.