

PROYEK AKHIR

PEMANFAATAN CANGKANG BUAH KARET SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

*Proyek Akhir Ini Diajukan Sebagai
Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
Program Studi Teknik Sipil Bangunan Gedung FT UNP Padang*



Oleh:

DIO ALIF DWANA
2014/14062014

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL BANGUNAN GEDUNG
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018**

PERSETUJUAN PROYEK AKHIR

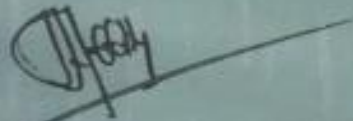
PEMANFAATAN CANGKANG BUAH KARET SEBAGAI BAHAN PENGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

Nama : DIO ALIF DWANA
TM/NIM : 2014/14062014
Program Studi : TEKNIK SIPIL BANGUNAN GEDUNG (D3)
Jurusan : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK

Padang, 6 Februari 2018

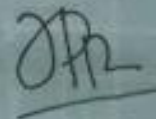
Disetujui Oleh:

a.n Ketua Program Studi
Teknik Sipil Bangunan Gedung (D3)
Sekretaris Jurusan Teknik Sipil,



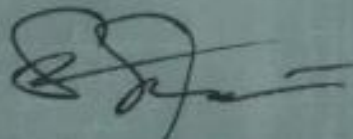
Drs. Juniman Silalahi, M. Pd
NIP. 19630627 198903 1 005

Pembimbing



Prima Zola, ST., M.T
NIP. 19790612 200312 2 001

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Dr. Rijal Abdullah, M.T
NIP. 19610328 198609 1 001

PENGESAHAN PROYEK AKHIR


PEMANFAATAN CANGKANG BUAH KARET SEBAGAI BAHAN PENGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

Nama : DIO ALIF DWANA
TM/NIM : 2014/14062014
Program Studi : TEKNIK SIPIL BANGUNAN GEDUNG (D3)
Jurusan : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK

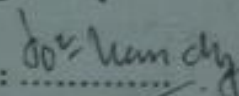
Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan dinyatakan lulus sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNP Padang.

Dewan Penguji :

Ketua : Prima Zola, ST., M.T
Anggota : Drs. Juniman Silalahi, M. Pd
Anggota : Totoh Andayono, ST., MT


:


:


:

Ditetapkan di : Padang, 6 Februari 2018

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DIO ALIF DWANA
NIM/TM : 14062014 / 2014
Program Studi : TEKNIK SIPIL BANGUNAN GEDUNG
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Skripsi/Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan judul PEMANFAATAN CANGKANG BUAH KARET SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara. Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Sipil



(Dr. Rijal Abdullah.M.T)
NIP. 19610328 198609 1 001

Saya yang menyatakan,



DIO ALIF DWANA

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahil'alamin

Puji syukur yang tiada henti hamba ucapkan kepada mu ya ALLAH, masih merasakan nikmat yang luar biasa dari MU, pada akhirnya hamba MU ini dapat menyelesaikan Projek Akhir ini.

Shalawat beserta salam tidak lupa pula hamba kirimkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam yang telah membawa umatnya dari alam kebodohan hingga alam yang penuh ilmu pengetahuan seperti yang sama2 kita rasakan ini..



Papa dan mama tiada kata yang terbaik lagi selain terimakasih yang mampu dio ucapkan, terimakasih atas kasih sayang dan didikan papa dan mama. Untuk papa terimakasih untuk setiap tetes keringat apa hingga dio berada di titik ini untuk menyelesaikan study ini hingga menyangang satu gelar.. Untuk mama semoga selalu diberi keridhoan oleh Allah SWT ☺ makasih banyak ma telah mendidik dio menjadi seperti ini, dio akan selalu mendoakan mama ☺☺.. dio akan berusaha menjadi orang yang berguna dan menjadi anak yang sholeh ma pa ☺☺

Untuk Uni lusi makasih ni telah membiayai perkuliahan yo selama ini, dan semoga dio bisa menjadi seperti uni yang mampu berkorban demi keluarga. Untuk adikku tercinta zahira, semoga menjadi adik yang sukses dan jadi kebanggaan orang tua. Aminnn. ☺☺

Terimakasih buat dosen dan staf teknik sipil.. makasih buk zola untuk semangat, kritik dan saran dalam membimbing dio untuk menyelesaikan proyek akhir ini. Makasih buat buk oktaviani, buk deni, buk nadra, buk heni, buk ola, pak rus, pak iskandar, pak totoh, pak fitrah, pak fahmi, pak azwar, pak chan, pak chairul, pak revian, pak giatman dan pak bakhri makasih atas ilmu yang bermanfaatnya.



Buat teknisi labor bahan Teknik Sipil bang Akhyar Jamila Nurman, bang fajar suhengki (jan batele juo), bang Adit yang baik hati. Teknisi Labor yang baru Yosentia dan Ilham Ucok yang selalu ikut membantu dalam pengujian beton makasih atas semua bantuannya selama ini. 😊😊



Untuk rekan2 teknik sipil bp 14, tak terasa sudah tiga tahun lebih kita berjuang bersama-sama, galak2.. nangih2.. pai main2.. buek tugas basamo-samo sampai ndak lalok .. jadi penghuni blok terbaik.. hahah.. semoga kita diberi kemudahan oleh Allah dan dipertemukan kembali saat menjadi orang yang sukses nanti.. semangat selalu rekan2.. jangan putus asa dan jangan putus cinta.. hehe mohon maaf bila selama dalam pergaulan ada kata2 dan perbuatan dio yang salah ya rekan2.. BP 14 sipil ko yang paling rancak, paliang kayo, paling gagah.😊😊

"Salam Teknik, Satu Jaya Padu"



Buan teman teman - teman yang selalu membantu dio dalam pengujian beton DELLO, BENI, FADEL, MIA, BUGI, PIA, dll terimakasih atas bantuannya teman, demi sebuah Toga di atas Kepala. Hahah. 😊😊

BIODATA

A. Data Diri

Nama Lengkap : Dio Alif Dwana
Tempat/Tanggal Lahir : Muaro Paiti, 8 Juli 1996
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Anak Ke : 2 (dua)
Jumlah Saudara : 2 (dua)
Alamat Tetap : Jl. Nusantara II Jorong Koto Tinggi, Muaro Paiti, Kec. Kapur IX, Kab. Lima Puluh Kota.
Alamat di Padang : Jl. Gajah 3 No 5 A , Air Tawar Barat, Padang Utara.

B. Data Pendidikan

SD : SD Negeri 02 Muaro Paiti
SLTP : SMP Negeri 1 Kecamatan Kapur IX
SLTA : SMA Negeri 1 Kecamatan Kapur IX
Perguruan Tinggi : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

C. Proyek Akhir

Judul Proyek Akhir : Pemanfaatan Cangkang Buah Karet Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal
Tanggal Sidang Proyek Akhir : 26 Januari 2018

Padang, Januari 2018

Dio Alif Dwana
2014/14062014

RINGKASAN

PEMANFAATAN CANGKANG BUAH KARET SEBAGAI BAHAN PENGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

Beton merupakan material utama yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur karena bahan penyusunnya mudah didapatkan, kuat terhadap tekan, dan kemudahan dalam pengerjaannya. Meningkatnya kebutuhan material bahan bangunan akan meningkatkan harga bahan bangunan itu sendiri, karena itu perlu dicari alternatif bahan lain yang banyak tersedia di alam dan juga sumber daya yang belum dimanfaatkan. Salah satunya adalah material ringan dan keras dengan memanfaatkan cangkang buah karet pada pembuatan beton. Berdasarkan masalah diatas, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Cangkang Buah Karet Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”.

Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dengan penggunaan cangkang buah karet sebagai pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton dan manfaat dari proyek akhir ini, sebagai alternatif dan inovasi bagi masyarakat serta sebagai bahan rujukan bagi peneliti lainnya. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, dimulai dengan penyediaan bahan-bahan yang diperlukan, pemeriksaan sifat fisik material, pembuatan benda uji beton, perawatan benda uji beton dan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari. Sampel penelitian berjumlah 18 buah benda uji dengan cetakan silinder yang berukuran diameter alas 15 cm dan tinggi 30 cm. Cangkang buah karet yang dimasukan pada campuran beton antara lain 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat agregat kasar.

Setelah melakukan pengujian kuat tekan beton, semakin banyak penggunaan cangkang buah karet sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton, maka kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan, berturut-turut kuat tekan beton rata-rata mulai dari beton 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dar agregat kasar adalah 19,26 Mpa; 15,18 Mpa; 10,88 Mpa; 7,46 Mpa; 3,97 Mpa; 4,54 Mpa. Kuat tekan beton yang dihasilkan dengan penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton, hasilnya tidak memenuhi standar kuat tekan beton struktur bertulang, dengan kisaran yang disyaratkan antara 17 – 35 Mpa (Juniman, S. 2014). Akan tetapi dengan persentase 3% sudah masuk dalam kategori beton normal (beton biasa), kuat tekan yang disyaratkan antara 15 – 30 Mpa (Tjokrodimulyo, 2007). Berdasarkan hasil penelitian ini, maka cangkang buah karet tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam campuran beton. Hal ini disebabkan karena karakteristik dari cangkang buah karet tidak memenuhi standar sebagai material dalam pembuatan beton seperti, bentuk fisik cangkang buah karet yang pipih, permukaan yang licin, berat jenis yang kecil, berat isi yang rendah dan penyerapan yang tinggi.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya. Salawat dan salam penulis haturkan pula pada junjungan Nabi besar kita Muhammad SAW, kepada para kerabat-Nya, para sahabat dan para pengikut-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini dengan judul : **“Pemanfaatan Cangkang Buah Karet Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”**. Penulisan proyek akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Diploma III di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Penulisan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, terutama sekali penulis ucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada ayah dan ibu tercinta sebagai motivasi penulis untuk dapat menyelesaikan laporan ini, adik-adik tersayang serta kepada seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, baik moril dan materil. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Ibu Prima Zola, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing yang telah membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
2. Bapak Drs. Juniman Silalahi, M.Pd selaku penguji dalam ujian proyek akhir ini dan selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Totoh Andayono, S.T., M.T., selaku penguji dalam ujian proyek akhir ini dan selaku Pembimbing Akademik.
4. Bapak DR. Rijal Abdullah, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Henny Yustisia, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi D-3 Teknik Sipil Bangunan Gedung Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

6. Bapak/Ibu dosen beserta staf Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
7. Rekan-rekan teknik sipil yang telah memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
8. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu

Hanya do'a yang dapat penulis ucapkan kepada Allah SWT, semoga segala bantuan yang diberikan mendapat balasan yang setimpal dari-Nya.

Sebagai manusia penulis menyadari bahwa pada Proyek Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapakan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.

Padang, Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|------------|
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN PERSETUJUAN | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | |
| SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT | |
| BIODATA | |
| RINGKASAN | i |
| KATA PENGANTAR..... | ii |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Identifikasi Masalah | 3 |
| C. Batasan Masalah..... | 3 |
| D. Rumusan Masalah | 4 |
| E. Tujuan penelitian | 4 |
| F. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II LANDASAN TEORI | |
| A. Beton | 5 |
| B. Bahan Pembentuk Beton | 6 |
| 1. Semen | 6 |
| 2. Agregat | 8 |
| 3. Air..... | 10 |
| 4. Cangkang Buah Karet | 13 |
| C. Faktor Air Semen | 14 |
| D. Umur Beton | 15 |
| E. Perawatan Beton..... | 15 |

| | |
|--|-----------|
| F. Kuat Tekan Beton..... | 16 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| A. Alur Penelitian | 17 |
| 1. Studi Literatur | 18 |
| 2. Pemeriksaan Sifat Fisik Material | 18 |
| 3. Perencanaan Campuran Beton | 23 |
| 4. Pembuatan Benda Uji Beton | 24 |
| 5. Perawatan Benda Uji..... | 24 |
| 6. Pengujian Kuat Tekan Beton | 26 |
| 7. Analisis Data | 26 |
| 8. Kesimpulan | 26 |
| B. Tempat dan Waktu Penelitian | 26 |
| C. Alat Pembuatan Benda uji..... | 27 |
| D. Sampel Penelitian..... | 31 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus, Agregat Kasar dan Cangkang Buah Karet | 32 |
| 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus..... | 32 |
| 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar..... | 39 |
| 3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Cangkang Buah karet | 46 |
| B. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton | 55 |
| C. Hasil dan Pembahasan | 60 |
| 1. Hasil | 60 |
| 2. Pembahasan | 62 |
| BAB V PENUTUP | |
| A. Kesimpulan dan Saran..... | 64 |
| 1. Kesimpulan | 64 |
| 2. Saran..... | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | 65 |
| LAMPIRAN..... | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-----------|---|----|
| Gambar 1 | : Cangkang Buah Karet | 2 |
| Gambar 2 | : Buah Karet dan Cangkang Buah Karet | 13 |
| Gambar 3 | : <i>Flow Chart</i> Penyusunan Proyek Akhir | 17 |
| Gambar 4 | : Cetakan Beton | 27 |
| Gambar 5 | : Ayakan | 27 |
| Gambar 6 | : Timbangan | 27 |
| Gambar 7 | : Sendok Semen | 28 |
| Gambar 8 | : Ember | 28 |
| Gambar 9 | : Oven | 28 |
| Gambar 10 | : <i>Los Angeles Machine</i> | 29 |
| Gambar 11 | : <i>Universal Testing Machine (UTM)</i> | 29 |
| Gambar 12 | : Semen | 30 |
| Gambar 13 | : Agregat Halus | 30 |
| Gambar 14 | : Agregat Kasar | 30 |
| Gambar 15 | : Cangkang Buah Karet | 31 |
| Gambar 16 | : Zat Organik Pasir | 34 |
| Gambar 17 | : Grafik Analisa Ayakan Pasir | 39 |
| Gambar 18 | : Grafik Analisa Ayakan Kerikil | 44 |
| Gambar 19 | : Grafik Analisa Ayakan Cangkang Buah Karet. | 50 |
| Gambar 20 | : Grafik Berat Rata – Rata Beton. | 60 |
| Gambar 21 | : Grafik Kuat Tekan Beton. | 60 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|----------|---|----|
| Tabel 1 | : Senyawa Utama dari Semen Portland | 7 |
| Tabel 2 | : Sifat masing – masing komposisi utama semen | 8 |
| Tabel 3 | : Batas - batas gradasi agregat halus | 10 |
| Tabel 4 | : Komposisi Kimia didalam Cangkang Buah Karet | 14 |
| Tabel 5 | : Rasio kuat tekan beton berbagai umur | 15 |
| Tabel 6 | : Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya | 16 |
| Tabel 7 | : Rekapitulasi Rencana Mix Design Campuran Beton | 23 |
| Tabel 8 | : Komposisi Campuran Beton dan Cangkang Buah Karet | 23 |
| Tabel 9 | : Sampel Penelitian | 31 |
| Tabel 10 | : Hasil Pengujian Kadar Air Pasir..... | 32 |
| Tabel 11 | : Data Kadar Lumpur Pasir..... | 34 |
| Tabel 12 | : Data Berat Jenis Pasir | 35 |
| Tabel 13 | : Data Berat Isi Padat Pasir | 36 |
| Tabel 14 | : Data Berat Isi gembur Pasir..... | 36 |
| Tabel 15 | : Data Daya Serap Pasir | 37 |
| Tabel 16 | : Analisis Saringan Pasir..... | 38 |
| Tabel 17 | : Hasil Pengujian Kadar Air Kerikil | 39 |
| Tabel 18 | : Hasil Pengujian Kadar Lumpur Kerikil..... | 40 |
| Tabel 19 | : Hasil Pengujian Berat Jenis Kerikil | 41 |
| Tabel 20 | : Hasil Pengujian Berat Isi Padat Kerikil..... | 41 |
| Tabel 21 | : Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Kerikil | 42 |
| Tabel 22 | : Data Daya Serap Kerikil..... | 43 |
| Tabel 23 | : Analisa Ayak Kerikil..... | 43 |
| Tabel 24 | : Susunan Butiran Contoh yang Diuji, Jumlah Bola Baja dan Jumlah Putaran Mesin | 44 |
| Tabel 25 | : Hasil Pengujian Kadar Air Cangkang Buah Karet | 46 |
| Tabel 26 | : Data Berat Jenis Cangkang Buah Karet..... | 47 |
| Tabel 27 | : Data Berat Isi Padat Cangkang Buah Karet..... | 48 |
| Tabel 28 | : Data Berat Isi Gembur Cangkang Buah Karet..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Tabel 29 : Data Daya Serap Cangkang Buah Karet..... | 49 |
| Tabel 30 : Data Analisa Ayak Cangkang Buah Karet..... | 50 |
| Tabel 31 : Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir | 52 |
| Tabel 32 : Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat | 53 |
| Tabel 33 : Rekapitulasi Hasil Pengujian Cangkang Buah Karet..... | 54 |
| Tabel 34 : Kuat tekan beton tanpa campuran cangkang buah karet 0% (Normal) | 55 |
| Tabel 35 : Kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet Sebagai pengganti 3% agregat kasar | 56 |
| Tabel 36 : Kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet Sebagai pengganti 6% agregat kasar | 57 |
| Tabel 37 : Kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet Sebagai pengganti 9% agregat kasar | 57 |
| Tabel 38 : Kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet Sebagai pengganti 12% agregat kasar | 58 |
| Tabel 39 : Kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet Sebagai pengganti 15% agregat kasar | 59 |
| Tabel 40 : Rata – Rata Berat dan Kuat Tekan Beton | 60 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 : Surat Tugas Pembimbing | 66 |
| Lampiran 2 : Surat Izin Pemakaian Labor | 67 |
| Lampiran 3 : Lembaran Bimbingan | 68 |
| Lampiran 4 : Perencanaan Campuran Beton | 69 |
| Lampiran 5 : Dokumentasi Penelitian | 72 |
| Lampiran 6 : Hasil Uji Kuat Tekan Beton | 79 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan penduduk yang sangat tinggi berakibat tingginya kebutuhan manusia akan tempat tinggal. Hal ini tentu saja dapat memicu tingginya kebutuhan akan material utama yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi yaitu beton. Meningkatnya kebutuhan bahan bangunan akan meningkatkan harga bahan bangunan itu sendiri, karena itu perlu dicari alternatif bahan lain tersedia di alam termasuk untuk bahan tambahan.

Beton adalah suatu bahan komposit (campuran) yang terdiri dari semen hidrolik (portland cement), agregat kasar, agregat halus, air, dan atau tanpa bahan campuran tambahan bebbentuk massa padat (SK. SNI T-15-1990-03). Pada saat sekarang ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur bangunan karena bahan penyusunnya mudah didapatkan, kekuatan tekan yang tinggi, dan kemudahan dalam proses pengerjaannya. Pembuatan beton dalam skala yang besar secara terus menerus tentu saja akan membutuhkan material yang cukup banyak. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya sumber daya alam yang tersedia untuk keperluan pembuatan beton itu sendiri, sehingga telah dilakukan berbagai macam pencarian bahan alternatif, baik terhadap material sisa industri maupun memanfaatkan sumber daya alam lain yang belum dimanfaatkan secara optimal, seperti cangkang buah karet yang dibiarkan begitu saja di lahan perkebunan karet masyarakat.

Karet merupakan salah satu jenis tanaman HTI (Hasil Tanaman Industri) yang cukup banyak ditanam dan berhasil dikembangkan khususnya dalam dunia industri. Di Indonesia, karet merupakan satu dari sepuluh komoditi strategis agroindustri. Setiap satu hektar lahan dapat menghasilkan 2.253 sampai 3 juta biji karet dalam satu tahun (Vinsiah. R, dkk. 2014). Potensi cangkang buah karet yang dihasilkan dalam satu hektar lahan perkebunan karet bervariasi yaitu sebesar 500 - 800 kg pertahun.

Pemanfaatan tanaman karet masih terbatas pada getahnya saja, sedangkan bagian – bagian yang lain dari tanaman ini seperti batang, buah dan cangkang buah karet merupakan limbah yang belum dimanfaatkan.



Gambar 1. Cangkang Buah Karet

Sumber : Dokumentasi Penulis

Secara fisik cangkang buah karet memiliki ciri sebagai tumbuhan yang berlignin. Konstruksi cangkang yang sangat keras mengindikasikan bahwa cangkang buah karet ini mengandung senyawa aktif berupa lignin. Lignin adalah komponen utama penyusun kayu selain selulosa dan hemiselulosa. Lignin terdiri dari molekul – molekul senyawa folifenol yang berfungsi sebagai pengikat sel – sel kayu satu sama lain, sehingga menjadi keras dan kaku, selain itu mampu meredam kekuatan mekanis yang dikenakan terhadapnya. Oleh karena itu lignin dapat digunakan sebagai bahan perekat pada kayu lapis, komposit dan berbagai produk lainnya.

Komposisi kimia yang terkandung dalam cangkang buah karet yaitu selulosa 48,64 %, Lignin 33,54 %, Pentosan 16,81 %, Kadar Abu 1,25 %, Kadar Silika 0,52 % (Pari Esih Susi Safitri, 2003 dalam Vinsiah. R, dkk. 2014). Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Industri dan Kimia Departemen Perindustrian mengenai pemanfaatan pohon karet, “diketahui bahwa cangkang buah karet belum dimanfaatkan secara optimal bahkan kadang kala menjadi suatu limbah yang tidak memiliki nilai jual” (Vinsiah. R, dkk. 2014).

Melihat melimpahnya cangkang buah karet yang terdapat di pekebunan karet masyarakat dan juga kurangnya pemanfaatan cangkang buah karet, maka penulis berusaha untuk memanfaatkannya, khususnya sebagai bahan bangunan yang dapat menjadi trobosan terbaru. berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk melakukan analisis kuat tekan beton dengan penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton, sehingga dalam proyek akhir ini penulis memberi judul **“Pemanfaatan Cangkang Buah Karet Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”**

B. Identifikasi Masalah

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada latar belakang, identifikasi masalah pada proyek akhir ini yaitu :

1. Pembuatan beton dalam skala besar dan secara terus menerus dapat menyebabkan berkurangnya sumber daya alam untuk kebutuhan akan material bahan yang digunakan dalam pembuatan beton.
2. Cangkang buah karet yang banyak ditemukan di lahan perkebunan karet belum dimanfaatkan oleh masyarakat.

C. Batasan Masalah

Agar penulisan proyek akhir ini tidak terlalu luas dan tidak menyimpang, maka penulis membatasi masalah pada penelitian ini dengan, yaitu sebagai berikut:

1. Cangkang buah karet berasal dari perkebunan karet masyarakat Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Lima Puluh Kota.
2. Cangkang buah karet dipecahkan terlebih dahulu sebesar ukuran yang sama dengan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini.
3. Variasi cangkang buah karet yang di gunakan adalah 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat agregat kasar.
4. Sampel benda uji menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Masing - masing 3 buah benda uji untuk setiap variasi beton.
5. Perawatan beton dilakukan dengan cara perendaman.

6. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari.
7. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah “berapakah nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton ?”

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan menggunakan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton.

F. Manfaat Penelitian

Diharapkan pada penelitian ini memberikan manfaat, yaitu untuk :

1. Diharapkan pada penelitian ini dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan ilmu pengetahuan teknologi bahan konstruksi pada Perguruan Tinggi maupun Lembaga Penelitian yang berkaitan dengan bahan bangunan.
2. Bagi penulis dapat mengetahui berapa kuat tekan beton yang dihasilkan dari penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam campuran beton.
3. Dapat mengurangi limbah cangkang buah karet dan pemanfaatannya sebagai bahan dalam campuran pembuatan beton.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Pengertian Beton

Menurut SNI 03–2847–2002, beton adalah bahan yang didapat dengan mencampurkan semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Bila bahan beton tersebut dituangkan ke dalam acuan yang di dalamnya dipasang baja tulangan, maka akhirnya menjadi beton bertulang yang telah mengeras. Beton merupakan bahan yang diperoleh dengan cara mencampurkan agregat, air dan semen atau bahan perekat hidrolis lainnya yang sejenis dengan atau tanpa bahan tambah (Iskandar G. Rani, 2009).

Beton dipilih sebagai bahan konstruksi bangunan karena bahan ini memiliki banyak keuntungan. Sebagian besar bahan pembuatan beton adalah bahan lokal kecuali semen Portland atau bahan tambahan kimia. Hal tersebut yang membuat beton lebih ekonomis untuk digunakan.

Disamping itu, beton juga banyak memiliki keunggulan dan kelemahan, adapun keunggulan dan kelemahan beton sebagai berikut:

a) Keunggulan Beton

- a. Mudah dibentuk sesuai dengan keinginan konstruksi.
- b. Bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti gedung, bendungan, fondasi, jalan, jembatan, dermaga dan lain lain.
- c. Tahan terhadap temperature tinggi.
- d. Biaya pemeliharaan yang lebih kecil.
- e. Kuat tekan beton yang tinggi.

b) kelemahan

- a. Berat sendiri beton yang besar, yaitu 2400-2500 kg/m³
- b. Kekuatan tarik yang rendah.
- c. Beton tidak mampu menahan gaya tegangan yang tinggi.
- d. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.

B. Bahan Pembentuk Beton

Pada umumnya, beton mempunyai rongga udara sekitar 1-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25-40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60-75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik beton mempunyai karakteristik yang spesifiknya terdiri dari beberapa bahan penyusun. Bahan pembentuk beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen, agregat, air, dan cangkang buah karet. Berikut ini akan dijelaskan mengenai bahan-bahan dalam pembentuk beton yaitu:

1. Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri yang paduan dari berbagai bahan baku antara lain: batu kapur/gamping sebagai bahan utama, lempung/tanah liat, dan bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa bubuk/bulk yang dapat mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air (Iskandar G. Rani, 2009). Semen dapat juga disebut sebagai bahan perekat yang dapat mengikat bahan lain yang dicampur dengan semen setelah bereaksi dengan air. Semen Portland (Portland cement) merupakan bahan ikat yang sangat penting dalam konstruksi beton, yang bersifat hidrolis, yaitu akan mengalami proses pengerasan jika dicampur air yang digunakan untuk mengikat bahan material menjadi satu kesatuan yang kuat. Walaupun volume semen hanya kira-kira sebanyak 10% saja dari volume beton, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting (Tjokrodinuljo, 2007).

Dipasaran, pada umumnya terdapat beberapa jenis semen dan tipe semen yang bermacam - macam. Beberapa jenis semen diatur dalam SNI, diantaranya adalah SNI 15-2049-2004 mengenai semen portland (OPC = Ordinary Portland Cement) yang dibedakan menjadi 5 tipe yaitu:

- a) Tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- b) Tipe II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c) Tipe III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d) Tipe IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e) Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

“Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun sebagai bahan pengikat maka peranan semen sangat penting” (Mulyono, 2004: 28). Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk ini mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen Portland. Sedangkan untuk susunan oksida semen Portland (Paul Nugraha & Antoni, 2007), sebagai berikut :

Tabel 1. Senyawa Utama dari Semen Portland

| Nama Senyawa | Rumus Empiris | Rumus Oksida | Notasi | Kadar Rata-rata |
|---------------------------|------------------------------------|--|------------------|------------------------|
| Trikalsium Silikat | Ca_3SiO_5 | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C3S | 50 |
| Dikalsium Silikat | Ca_2SiO_4 | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C2S | 25 |
| Trikalsium Alumnat | $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_3$ | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C3A | 12 |
| Tetrakalsium Aluminoforit | $2\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$ | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}_3$ | C4AF | 8 |
| Calcium sulfate dyhydrae | | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | CSH ₂ | 3.5 |

Sumber: Paul Nugraha & Antoni, (2007) *Teknologi Beton*

Tabel 2. Sifat masing – masing komposisi utama semen

| Bahan | Kecepatan Hidrasi | Panas Hidrasi (J/g) | Andil terhadap Kekuatan | Susut |
|-------|-------------------|---------------------|-------------------------|--------|
| C3S | Cepat | 503 – tinggi | > setelah 28 hari | Sedang |
| C2S | Lambat | 260 – rendah | > setelah 28 hari | Sedang |
| C3A | Sangat Cepat | 867 – sangat tinggi | > dalam 1 hari | Besar |
| C4AF | Cepat | 419 - sedang | Sedikit | Kecil |

Sumber: Paul Nugraha & Antoni, (2007) *Teknologi Beton*

2. Agregat

Menurut SNI 03–2847–2002, Agregat merupakan material granular, misalnya pasir, krikil, batu pecah dan kerak tungku pijar yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolis. “Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. agregat dalam adukan beton menempati volume yang terbesar $\pm \frac{3}{4}$ bagian atau 60%-80%. Oleh karena itu mutu agregat penting diketahui, karena agregat yang dipakai dalam campuran beton sangat mempengaruhi kekuatan betonnya. Agregat yang kuat akan menghasilkan beton yang kuat, karena persentase agregat dalam campuran beton lebih besar dari bahan lainnya” (Iskandar, 2009: 34).

Agregat tidak hanya sebatas bahan pengisi saja pada campuran beton. Untuk menghasilkan susunan beton yang padat, maka gradasi dari suatu agregat sangat perlu diperhatikan. Sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat seperti kepadatan, stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umur (durability) dan lain sebagainya.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butiran. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam bidang teknologi beton nilai batas daerah agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm (Standar

ASTM) atau 4,80 mm (British Standard). “Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (4,75mm)” (Mulyono, 2004: 65).

Berdasarkan jenis, agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat alami dan agregat buatan (pecahan). Pada penelitian yang dilaksanakan digunakan dua agregat yaitu agregat kasar dan halus.

a. Agregat Kasar

Menurut Mulyono (2004), agregat kasar adalah batuan yang mempunyai ukuran butir lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm), sedangkan menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat kasar dibedakan menjadi 3 berdasarkan berat jenisnya, yaitu sebagai berikut:

1) Agregat normal.

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antar 2,5 – 2,7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat 2,3 gram/cm³ dan biasa disebut beton normal.

2) Agregat berat.

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetit (Fe₃O₄), barites (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm³ yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasi sinar X.

3) Agregat ringan.

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ misalnya tanah bakar (bloated clay), abu terbang (fly ash), busa terak tanur tinggi (foamed blast furnace slag). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen non-struktural.

b. Agregat Halus

Menurut Mulyono (2004), agregat halus adalah batuan yang mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 4,80 mm (4,75 mm), sedangkan Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15 mm–5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu: pasir galian, pasir sungai dan pasir laut. Agregat halus (pasir) menurut gradasinya sebagaimana tercantum pada tabel seperti di bawah ini:

Tabel 3. Batas - batas gradasi agregat halus

| Lubang Ayakan (mm) | Ayakan Berat butir yang lewat ayakan dalam persen | | | |
|--------------------|---|------------|------------|--------|
| | Kasar | Agak Kasar | Agak Halus | Halus |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4.8 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2.4 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1.2 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0.6 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0.3 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0.15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

Sumber : Tjokrodinuljo (2007) *Teknologi Beton*

3. Air

Dalam pembuatan beton, air menjadi sangat penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi bleeding, yaitu air bersama semen akan naik keatas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini dapat menyebabkan kurangnya lekatan atau ikatan antara lapisan - lapisan beton dan membuat menjadi beton lemah. Air sebagai media pencampur untuk pengerasan beton mempunyai kedudukan 8-10% dengan kata lain komposisi air \pm 10% dalam campuran beton (Iskandar, 2009). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya

gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam penerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004). Kualitas beton akan berkurang jika air yang digunakan mengandung kotoran, pengaruh lainnya pada saat pengikatan awal adukan beton.

Syarat mutu air menurut British Standard (BS.3148-80) adalah sebagai berikut :

a. Garam-Garam Anorganik

Ion-ion utama yang terdapat dalam air adalah kalsium, magnesium, natrium, kalium, bikarbonat, sulfat, klorida, nitrat dan kadang-kadang karbonat. Gabungan ion-ion tersebut tidak boleh lebih besar dari 2000 mg per liter. Garam-garam anorganik ini akan memperlambat waktu pengikatan beton dan menyebabkan menurunnya kekuatan beton. Konsentrasi garam-garam dalam campuran beton hingga 500 ppm masih diijinkan.

b. NaCl dan Sulfat

Konsentrasi NaCl atau garam dapur sebesar 2000 ppm pada umumnya masih diijinkan. Air campuran beton yang mengandung 1250 ppm natrium sulfat, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, dapat digunakan dengan hasil yang memuaskan.

c. Air Asam

Air campuran asam dapat digunakan atau tidak berdasarkan konsentrasi asamnya yang dinyatakan dalam ppm (parts per million). Semakin tinggi nilai asam (pH lebih dari 3.00), semakin sulit dalam

mengelola pekerjaan beton. Karena itu penggunaan air dengan pH diatas 3.00 harus dihindarkan.

d. Air Basa

Air dengan kandungan natrium hidroksida sekitar 0.5% dari berat semen, tidak banyak berpengaruh pada kekuatan beton, asalkan waktu pengikatan tidak berlangsung cepat. Konsentrasi basa lebih tinggi dari 0.5% berat semen akan mempengaruhi kekuatan beton.

e. Air Gula

Apabila kadar gula dalam campuran dinaikan hingga mencapai 0.2% dari berat semen, maka waktu pengikatan biasanya akan semakin cepat. Gula sebanyak 0.25% berat semen atau lebih akan mengakibatkan bertambah cepatnya waktu pengikatan secara signifikan dan berkurangnya kekuatan beton pada umur 28 hari.

f. Minyak

Minyak mineral atau minyak tanah dengan konsentrasi lebih dari 2% berat semen dapat mengurangi kekuatan beton hingga 20%.

g. Rumput Laut

Rumput laut yang tercampur dalam air campuran beton dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton secara signifikan. Bercampurnya rumput laut dengan semen akan mengakibatkan berkurangnya daya lekat dan menimbulkan terjadinya sangat banyak gelembung-gelembung udara dalam beton. Beton menjadi keropos dan pada akhirnya kekuatannya akan berkurang.

h. Zat-zat Organik, Lanau dan Bahan-bahan Terapung

Kandungan zat organik dalam air dapat mempengaruhi waktu pengikatan semen dan kekuatan beton. Kira-kira 2000 ppm lempung yang terapung atau bahan-bahan halus yang berasal dari batuan yang diijinkan ada dalam campuran.

i. Pencemaran Limbah Industri atau Air Limbah

Air limbah biasanya mengandung kira-kira 400 ppm senyawa organik. Setelah air limbah diencerkan/disaring di tempat yang cocok dengan keperluan pencampuran beton, konsentrasi senyawa organik biasanya turun menjadi 20 ppm atau kurang dari itu.

4. Cangkang Buah Karet

Karet merupakan salah satu jenis tanaman HTI (Hasil Tanaman Industri) yang cukup banyak ditanam dan berhasil dikembangkan khususnya dalam dunia industri. Di Indonesia, karet merupakan satu dari sepuluh komoditi strategis agroindustri. Peningkatan luas lahan perkebunan karet di provinsi Sumatera Barat, pada tahun 2015 mencapai 179.708 ha, dengan total produksi per tahun 153.488 ton. Setiap satu hektar lahan dapat menghasilkan 2.253 sampai 3 juta biji pertahun (Vinsiah. R, dkk. 2014). Potensi cangkang buah karet yang dihasilkan dalam satu hektar lahan perkebunan karet bervariasi yaitu sebesar 500 - 800 kg pertahun.



Gambar 2. Buah Karet dan Cangkang Buah Karet
 Sumber: Dokumentasi penulis

Cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan jenis limbah pertanian yang menyebabkan masalah seperti pencemaran lingkungan di sekitar perkebunan karet (Joko. M, Iriany. 2017). Secara fisik cangkang buah karet memiliki ciri sebagai tumbuhan yang berlignin. Konstruksi cangkang yang sangat keras mengindikasikan bahwa cangkang buah karet ini mengandung senyawa aktif berupa lignin. Lignin adalah komponen utama penyusun kayu selain selulosa dan hemiselulosa. Lignin terdiri dari

molekul – molekul senyawa folifenol yang berfungsi sebagai pengikat sel – sel kayu satu sama lain, sehingga menjadi keras dan kaku, selain itu mampu meredam kekuatan mekanis yang dikenakan terhadapnya. Oleh karena itu lignin dapat digunakan sebagai bahan perekat pada kayu lapis, komposit dan berbagai produk lainnya.

Tabel 4. Komposisi Kimia didalam Cangkang Buah Karet

| No. | Komponen | Persentase (%) |
|-----|----------|----------------|
| 1 | Selulosa | 48,64 |
| 2 | Lignin | 33,54 |
| 3 | Pentosan | 16,81 |
| 4 | Pentosan | 1,25 |
| 5 | Silika | 0,52 |

Sumber: *Esih Susi Safitri 2003 dalam Rananda Vinsiah, (2014)*

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Industri dan Kimia Departemen Perindustrian mengenai pemanfaatan pohon karet, “diketahui bahwa cangkang buah karet belum dimanfaatkan secara optimal bahkan kadang kala menjadi suatu limbah yang tidak memiliki nilai jual” (Vinsiah. R, dkk. 2014: 190).

C. Faktor Air Semen

Faktor Air Semen (FAS) merupakan perbandingan berat antar air dan semen portland didalam campuran adukan beton. Secara umum dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu kekuatan beton akan semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Pada praktiknya, untuk mengatasi kesulitan pengerjaan karena rendahnya nilai FAS ditambahkan bahan tambah yang bersifat menambah keenceran (Mulyono, 2004).

D. Umur Beton

Kekuatan tekan akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linear) sampai umur 28 hari, setelah umur 28 hari kuat tekan beton tidak akan mengalami peningkatan. Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis semen portland, suhu sekeliling beton, faktor air semen, dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Hubungan antara umur dan kuat tekan beton dapat dilihat dalam Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Rasio kuat tekan beton berbagai umur

| Umur beton (hari) | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 | 90 | 365 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Semen portland biasa | 0,40 | 0,65 | 0,88 | 0,95 | 1,00 | 1,20 | 1,35 |
| dengan mutu tinggi | 0,55 | 0,75 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,15 | 1,20 |

Sumber : *PBI 1971, NI-2, dalam Tjokrodinuljo, (2007) Teknologi Beton*

E. Perawatan Beton

Perawatan beton merupakan suatu tahap akhir dalam pekerjaan pembeconan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna (kira-kira selama 28 hari). Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen (berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, maka udara panas akan mengakibatkan terjadinya proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonnya (Tjokrodinuljo, 2007).

Untuk menghindari terjadinya retak-retak pada beton karena proses hidrasi yang terlalu cepat, maka dilakukan perawatan beton dengan cara sebagai berikut:

- 1) Menaruh beton segar di dalam ruangan yang lembab.
- 2) Menaruh beton segar di atas genangan air.
- 3) Menaruh beton segar di dalam air.

F. Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990, Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima beban persatuan luas. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. “Kuat tekan beton pada umur 28 hari berkisar antara 10 – 65 Mpa. Untuk stuktur beton bertulang, beton normal umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 Mpa” (Juniman, S. 2014:10). Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi mutu beton yang akan dihasilkan. Nilai kuat tekan beton umumnya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, oleh karena itu untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja (Tjokrodimulyo, 2007).

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

| No | Jenis Beton | Kuat Tekan |
|----|---|---------------|
| 1 | Beton Sederhana (<i>plain concrete</i>) | Sampai 10 Mpa |
| 2 | Beton Normal (Beton Biasa) | 15-30 Mpa |
| 3 | Beton Pra Tegang | 30-40 Mpa |
| 4 | Beton Kuat Tekan Tinggi | 40-80 Mpa |
| 5 | Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi | >80 Mpa |

Sumber: Tjokrodimuljo, (2007) *Teknologi Beton*

Kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut, (SNI 03-1974-1990):

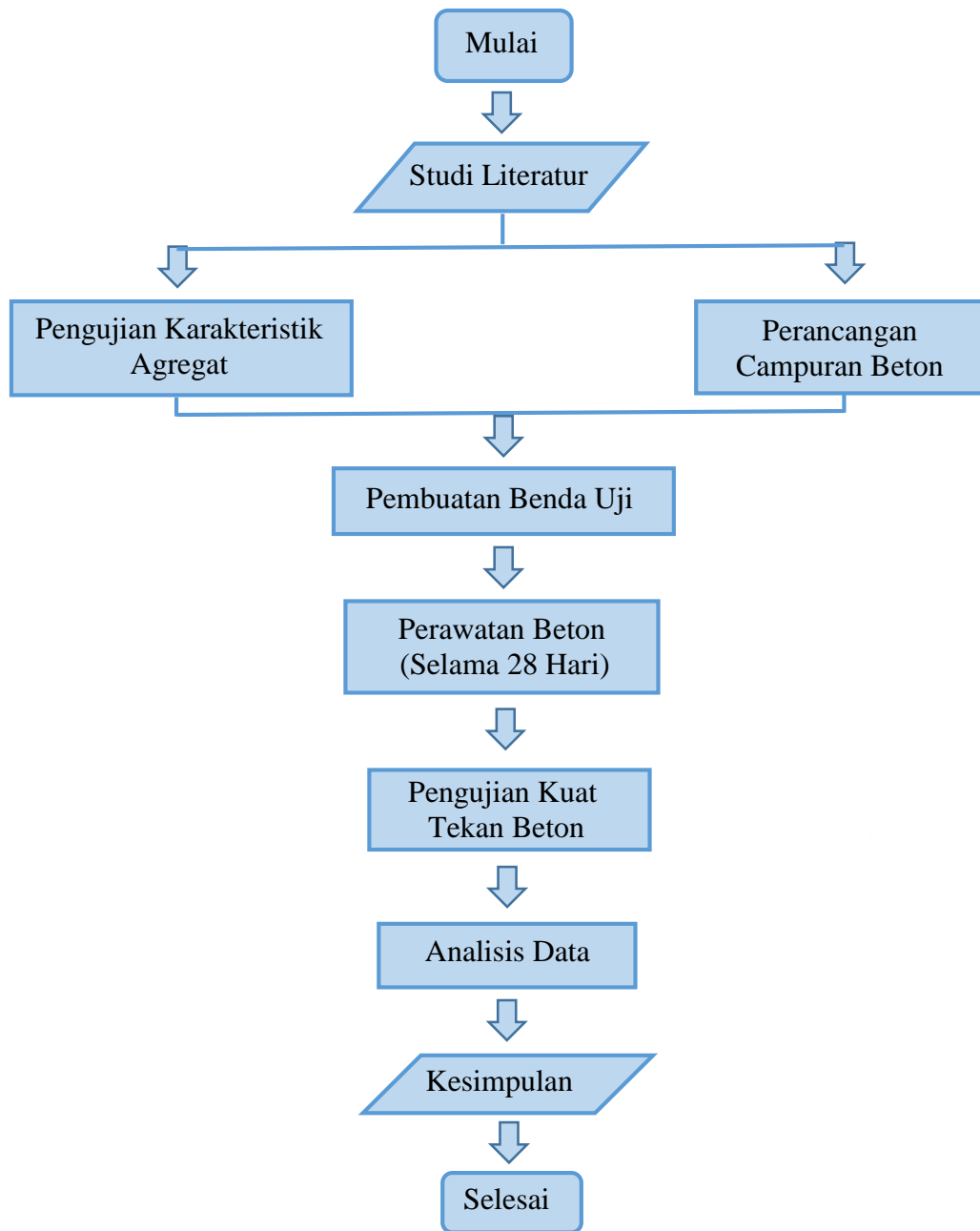
$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana : f_c' = kuat tekan beton (Mpa)
 P = beban maksimum (N)
 A = luas penampang benda uji (mm²)

BAB III METODE PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Rangkaian tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada *flow chart* berikut.



Gambar 3. *Flow Chart* Penyusunan Proyek Akhir.

Dilihat dari *flow chart* di atas, dapat dijelaskan metode pelaksanaan proyek akhir ini dengan penjelasan seperti berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mencari dan mengumpulkan berbagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan proyek akhir ini. Penelitian pada proyek akhir ini termasuk jenis eksperimen Studi literatur diambil dari hasil penelitian para pakar dalam bidang teknik sipil serta mengumpulkan berbagai informasi tentang pembuatan beton dan juga buku-buku yang berkaitan dalam pembuatan proyek akhir ini.

2. Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik agregat perlu dilakukan untuk mengetahui mutu agregat yang akan digunakan untuk campuran beton. Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboraturium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNP. Proses pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur pengujian yang telah ditetapkan pada *Lab Sheet*. Material yang digunakan pada proyek akhir pembuatan beton ini yaitu semen, pasir, kerikil, dan cangkang buah karet.

Adapun pemeriksaan fisik dari material pasir, kerikil, dan cangkang buah karet yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pasir (Agregat Halus)

Jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

a. Pemeriksaan Kadar Air Pasir

Pemeriksaan kadar air pasir bertujuan untuk mengetahui daya penyerapan pasir terhadap air pada kondisi jenuh permukaan atau *Saturated Surface Dry (SSD)*.

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

b. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir

Pemeriksaan kadar air pasir bertujuan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terkandung dalam pasir.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{\text{Selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

c. Pemeriksaan Berat Jenis Pasir

Pemeriksaan berat jenis pasir bertujuan untuk mengetahui berat jenis pasir yang akan digunakan dalam kondisi SSD.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{100}{(B-A) - (C-A-100)}$$

d. Pemeriksaan Berat Isi Pasir

Pemeriksaan berat isi pasir bertujuan untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan gembur maupun padat.

$$\text{Berat Isi} = \frac{\text{berat pasir}}{\text{volume literan}}$$

e. Pemeriksaan Daya Serap Air Pasir

Pemeriksaan daya serap air pasir bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung di dalam pasir.

$$\text{Daya Serap K. U} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Daya Serap SSD} = \frac{C-B}{B} \times 100\%$$

f. Pengujian Analisa Ayak Pasir

Pengujian analisa ayak kerikil bertujuan untuk mengetahui gradasi atau susunan butiran dari pasir.

2. Kerikil (Agregat Kasar)

Jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

a. Pemeriksaan Kadar Air Kerikil

Pemeriksaan kadar air dan kerikil bertujuan untuk mengetahui daya penyerapan kerikil terhadap air pada kondisi jenuh permukaan atau *Saturated Surface Dry* (SSD).

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

b. Pemeriksaan Kadar Lumpur Kerikil

Pemeriksaan kadar lumpur kerikil bertujuan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terkandung didalamnya.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{\text{Selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

c. Pemeriksaan Berat Jenis Kerikil

Pemeriksaan berat jenis kerikil bertujuan untuk mengetahui berat jenis kerikil yang akan digunakan dalam kondisi SSD.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{100}{(B-A) - (C-A-100)}$$

d. Pemeriksaan Berat Isi Kerikil

Pemeriksaan berat isi kerikil bertujuan untuk mengetahui berat isi kerikil dalam keadaan gembur maupun padat.

$$\text{Berat Isi Kerikil} = \frac{\text{berat Kerikil}}{\text{volume literan}}$$

e. Pemeriksaan Daya Serap Air Kerikil

Pemeriksaan daya serap air kerikil bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung di dalam kerikil dihitung dari keadaan kering oven sampai dengan jenuh kering muka.

$$\text{Daya Serap K. U} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Daya Serap SSD} = \frac{C-B}{B} \times 100\%$$

f. Pengujian Analisa Ayak Kerikil

Pengujian analisa ayak kerikil bertujuan untuk mengetahui gradasi atau susunan butiran dari kerikil.

g. Pemeriksaan Keausan Agregat

Pemeriksaan keausan agregat kasar dengan alat Los Angeles bertujuan untuk mengetahui berapa persen keausan atau ketahanan agregat kasar.

$$\text{Kekerasan Agregat (C)} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

3. Cangkang buah Karet

Jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

a. Pemeriksaan Kadar Air Cangkang Buah Karet

Pemeriksaan kadar air cangkang buah karet bertujuan untuk mengetahui daya penyerapan cangkang buah karet terhadap air pada kondisi jenuh permukaan atau *Saturated Surface Dry* (SSD).

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

b. Pemeriksaan Kadar Lumpur Cangkang Buah karet

Pemeriksaan kadar lumpur cangkang buah karet bertujuan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terkandung didalamnya.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{\text{Selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

c. Pemeriksaan Berat Jenis Cangkang Buah Karet

Pemeriksaan berat jenis cangkang buah karet bertujuan untuk mengetahui berat jenis cangkang buah karet yang akan digunakan dalam kondisi SSD.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{100}{(B-A) - (C-A-100)}$$

d. Pemeriksaan Berat Isi Cangkang Buah Karet

Pemeriksaan berat isi cangkang buah karet bertujuan untuk mengetahui berat isi cangkang buah karet dalam keadaan gembur maupun padat.

$$\text{Berat isi CBK} = \frac{\text{berat CBK}}{\text{volume literan}}$$

e. Pemeriksaan Daya Serap Air Cangkang Buah Karet

Pemeriksaan daya serap air cangkang buah karet bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung di dalam cangkang buah karet dihitung dari keadaan kering oven sampai dengan jenuh kering muka atau udara.

$$\text{Daya Serap K. U} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Daya Serap SSD} = \frac{C-B}{B} \times 100\%$$

f. Pengujian Analisa Ayak Cangkang Buah Karet

Pengujian analisa ayak cangkang buah karet bertujuan untuk mengetahui gradasi atau susunan butiran dari cangkang buah karet.

g. Pemeriksaan Keausan Cangkang Buah Karet

Pemeriksaan keausan cangkang buah karet dengan alat Los Angeles bertujuan untuk mengetahui berapa persen keausan atau ketahanan cangkang buah karet.

$$\text{Kekerasan CBK (C)} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

3. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) bertujuan untuk menentukan komposisi kebutuhan agregat, semen, air, dan cangkang buah karet. Dalam rancangan campuran beton, sifat karakteristik material sangat mempengaruhi mutu yang dihasilkan. Perancangan campuran beton pada penelitian ini menggunakan metode SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

Tabel 7. Rekapitulasi Rencana *Mix Design* Campuran Beton

| No | Uraian | Nilai |
|----|--|----------------------------|
| 1 | Kuat tekan yang disyaratkan (f_c') | 20 MPa |
| 2 | Deviasi Standar | 7 MPa |
| 3 | Nilai tambah (margin) | $1,64 \times 7 = 11,5$ MPa |
| 4 | Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ($f_{cr}' = f_c' + m$) | 31,5 MPa |
| 5 | Jenis semen | Tipe PCC |
| 6 | Jenis agregat a. Kasar b. Halus | Batu Pecah Alami |
| 7 | Faktor air semen | 0,56 |
| 8 | Nilai slump | 10 ± 2 cm |
| 9 | Ukuran butir agregat maksimum | 30 cm |
| 10 | Kadar air bebas | 197 lt/m ³ |
| 11 | Jumlah semen | 352 kg/m ³ |
| 12 | Jumlah semen minimum | 275 kg/m ³ |
| 13 | Jumlah semen maksimum | 352 kg/m ³ |
| 14 | Persen agregat halus terhadap campuran | 38 % |
| 15 | Berat jenis agregat | 2,57 |
| 16 | Berat isi beton | 2.350 kg/m ³ |
| 17 | Kebutuhan agregat campuran | 1.801 kg/m ³ |
| 18 | Kebutuhan agregat halus | 684 kg/m ³ |
| 19 | Kebutuhan agregat kasar | 1.117 kg/m ³ |
| 20 | Proporsi campuran tiap | 1 m ³ |
| | Semen | 352 kg |
| | Agregat halus | 684 kg |
| | Agregat kasar | 1.117 kg |
| | Air | 197 liter |
| | Perbandingan $P_c : P_s : K_r$ | 1 : 1,94 : 3,17 |

| | | |
|----|--|----------------------|
| 21 | Kebutuhan untuk 1 selinder uji (0,006 m ³) | 0,006 m ³ |
| | Semen | 2,112 kg |
| | Agregat halus | 4,104 kg |
| | Agregat kasar | 6,702 kg |
| | Air | 1,182 kg |

Tabel 8. Komposisi Campuran Beton dan Cangkang Buah Karet

| Persentase Cangkang Buah Karet | Semen (kg) | Air (kg) | Agr. Halus (kg) | Agr. Kasar (kg) | CBK (kg) |
|--------------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Beton Normal | 6,336 | 3,546 | 12,312 | 20,106 | - |
| 3 % (3 sampel) | 6,336 | 3,546 | 12,312 | 19,503 | 0,603 |
| 6 % (3 sampel) | 6,336 | 3,546 | 12,312 | 18,900 | 1,206 |
| 9 % (3 sampel) | 6,336 | 3,546 | 12,312 | 18,297 | 1,809 |
| 12 % (3 sampel) | 6,336 | 3,546 | 12,312 | 17,694 | 2,412 |
| 15 % (3 sampel) | 6,336 | 3,546 | 12,312 | 17,091 | 3,015 |
| Jumlah = 18 sampel | 38,02 | 21,27 | 36,93 | 111,6 | 9,045 |

4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji atau sampel beton dalam bentuk silinder dengan ukuran 30 cm x 15 cm sebanyak 18 buah. Benda uji dibuat masing-masing 3 buah untuk umur 28 hari.

Langkah kerja pembuatan benda uji beton yaitu:

- Mempersiapkan peralatan yang akan digunakan pada saat pembuatan benda uji seperti: cetakan beton, ember, timbangan, sekop, sendok semen, *Slump Test*, *Universal Testing Mechine* (UTM) dan tempat adukan
- Siapkan bahan yang akan digunakan seperti: pasir, agregat kasar, semen, air dan cangkang buah karet berukuran sebesar agregat kasar dengan proporsi 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat agregat kasar.
- Siapkan cetakan benda uji dan dilapisi dengan pelumas atau oli.
- Pasir dan semen dicampur terlebih dahulu, setelah merata baru dimasukkan agregat kasar dan dicampur lagi untuk 3 buah benda uji kemudian campuran diaduk hingga tercampur merata (proporsi 0%).

- e. Air dimasukkan ke dalam adukan setelah adukan tercampur rata dan dilakukan pengadukan kembali.
- f. Setelah semua bahan tercampur, selanjutnya dilakukan tahap pengujian *slump* beton. Jika sudah sesuai dengan rencana pembuan beton, maka baru dilanjutkan dengan memasukkan adukan beton kedalam cetakan silinder.
- g. Masukkan adukan beton kedalam cetakan beton sepertiga bagian kemudian ditusuk sebanyak 25 kali, kemudian masukkan lagi sepertiga bagian dan ditusuk lagi sebanyak 25 kali, setelah itu penuhkan cetakan dan ditusuk sebanyak 25 kali, kemudian ratakan permukaan cetakan silinder beton.
- h. Setelah benda uji dengan campuran pasir, semen, agregat kasar dan air dan tanpa cangkang buah karet (proporsi 0%) dengan 3 buah benda uji selesai, selanjutnya dilakukan kembali langkah d sampai g dengan proporsi cangkang buah karet 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat agregat kasar.
- i. Selanjutnya diamkan benda uji selama 1 jam dan beri tanda pada sampel beton.
- j. Letakkan silinder beton yang baru dicetak pada ruangan yang sejuk.
- k. Kemudian buka cetakan setelah beton berumur \pm 12 jam
- l. Rendam semua sampel benda uji dalam bak yang berisi air selama 28 hari untuk proses perawatan/*curing* sampai dilakukan pengujian kuat tekan.

5. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan sampai umur rencana pengujian kuat tekan beton yaitu pada umur 28 hari. Perawatan beton dilakukan dengan cara merendam benda uji di dalam bak berisi air. Perawatan benda uji ini bertujuan untuk menjaga kelembapan dan panas agar tetap konstan sewaktu proses hidrasi berlangsung.

6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNP. Pengujian dilakukan pada um 28 hari, alat yang digunakan pada pengujian ini adalah *Universal Testing Mechine* (UTM).

7. Analisi data

Analisis data yaitu pengolahan data dari beberapa hasil pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian. Kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut, (SNI 03-1974-1990):

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana : f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

8. Kesimpulan

Kesimpulan berisi tentang perbandingan campuran beton yang tepat dengan menggunakan cangkang buah karet yang berasal dari Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Lima Puluh Kota. Hal tersebut terlihat dari kuat tekan beton yang dihasilkan dari masing-masing komposisi campuran beton setelah melakukan pengujian kuat tekan beton.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Waktu penelitian dilakukan selama 2 bulan yaitu pada bulan November 2017 s/d Desember 2017.

C. Alat dan Bahan Pembuatan Benda Uji

1. Alat

a. Cetakan beton

Cetakan beton yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



Gambar 4. Cetakan Beton
Sumber: Dokumentasi Penelitian

b. Ayakan

Ayakan digunakan untuk pengujian gradasi agregat halus dan agregat kasar.



Gambar 5. Ayakan
Sumber: Dokumentasi Penelitian

c. Timbangan

Alat ini digunakan untuk menimbang berat material benda uji dan berat sampel beton yang dibuat.



Gambar 6. Timbangan
Sumber: Dokumentasi Penelitian

d. Sendok semen

Pada penelitian ini menggunakan sendok semen untuk mempermudah memasukan material yang selesai diaduk ke dalam cetakan beton.



Gambar 7. Sendok semen
Sumber: Dokumentasi Penelitian

e. Ember

Pada penelitian ini menggunakan ember untuk mempermudah mengangkut material beton.



Gambar 8. Ember
Sumber: Dokumentasi Penelitian

f. *Oven*

Alat ini digunakan untuk memanaskan agregat untuk mengetahui berat kering *oven* material.



Gambar 9. *Oven*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

g. *Los Angeles Machine*

Pada penelitian ini menggunakan alat *Los Angeles Machine* digunakan untuk mengetahui nilai keausan agregat kasar.



Gambar 10. *Los Angeles Machine*

Sumber: Dokumentasi Penelitian

h. *Universal Testing Machine (UTM)*

Pada penelitian ini menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk mengetahui kuat tekan beton.



Gambar 11. *Universal Testing Machine (UTM)*

Sumber: Dokumentasi Penelitian

2. Bahan

a. Semen PCC

Pada penelitian ini menggunakan semen *portland composite cement* (PCC) produksi PT. Semen Padang.



Gambar 12. Semen PCC
Sumber: Dokumentasi Penelitian

b. Agregat halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Lubuk Alung, Kabupaten Padang Pariaman.



Gambar 13. Agregat halus (Pasir)
Sumber: Dokumentasi Penelitian

c. Agregat kasar (batu pecah)

Agregat kasar (batu pecah) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari *quary* Padang Pariaman.



Gambar 14. Agregat Kasar (batu pecah)
Sumber: Dokumentasi Penelitian

d. Cangkang buah karet

Cangkang buah karet yang digunakan pada penelitian ini berasal dari perkebunan masyarakat Kecamatan Kapur IX, Kabupaten 50 Kota.



Gambar 15. Cangkang buah karet
Sumber: Dokumentasi Penelitian

e. Air

D. Sampel Penelitian

Pembuatan sampel penelitian menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter alas 15 cm dan tinggi 30 cm. sampel yang dibuat sebanyak 18 buah sampel penelitian dengan 3 sampel untuk masing-masing campuran beton dengan persentase penambahan cangkang buah karet sebagai berikut.

Tabel 9. Sampel Penelitian

| Persentase cangkang buah karet | Jumlah Sampel | Ukuran Sampel (Diameter x tinggi) |
|--------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Beton Normal (0%) | 3 buah | 15 cm x 30 cm |
| 3% | 3 buah | 15 cm x 30 cm |
| 6% | 3 buah | 15 cm x 30 cm |
| 9% | 3 buah | 15 cm x 30 cm |
| 12% | 3 buah | 15 cm x 30 cm |
| 15% | 3 buah | 15 cm x 30 cm |

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Agregat Halus, Agregat Kasar dan Cangkang Buah Karet

Pengujian karakteristik agregat sangat penting dilakukan sebelum pembuatan benda uji, hal ini dikarenakan karakteristik agregat mempengaruhi kekuatan benda uji itu sendiri. Pada penelitian ini agregat yang diuji yaitu pasir, batu pecah, dan cangkang buah karet. Cangkang buah karet berasal dari perkebunan karet masyarakat Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Lima Puluh Kota, sedangkan pasir dan batu pecah berasal dari Lubuak Alung, Kabupaten Padang Pariaman. Berikut hasil pengujian karakteristik agregat sebagai berikut:

1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

a. Kadar Air Pasir

Rumus:

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

Dimana:

Selisih = berat kering semula – berat kering tetap

Berat kering tetap = berat yang telah dioven 24 jam

Data:

Tabel 10. Hasil Pengujian Kadar Air Pasir

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | | Kadar Air Rata - Rata |
|-----------------|--------------------|----------------|-------|-------|-----------------------|
| | | I | II | III | |
| I | Berat semula | 100 | 100 | 100 | 5,51% |
| II | Berat kering tetap | 94,79 | 94,51 | 95,02 | |
| III | Selisih | 5,21 | 5,49 | 4,98 | |
| Kadar air pasir | | 5,49% | 5,80% | 5,24% | |

| No. | Jenis Perlakuan (Pasir SSD) | Pengujian (gr) | | | Kadar Air Rata - Rata |
|-----------------|-----------------------------|----------------|-------|-------|-----------------------|
| | | I | II | III | |
| I | Berat semula | 100 | 100 | 100 | 2,39% |
| II | Berat kering tetap | 97,81 | 97,61 | 97,58 | |
| III | Selisih | 2,19 | 2,39 | 2,42 | |
| Kadar air pasir | | 2,24% | 2,45% | 2,48% | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{5,21}{94,79} \times 100\% = 5,49\%$$

$$2) \frac{5,49}{94,51} \times 100\% = 5,80\%$$

$$3) \frac{4,98}{95,02} \times 100\% = 5,24\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{5,49 + 5,80 + 5,24}{3} = 5,51\%$$

Pasir SSD

$$1) \frac{2,19}{97,81} \times 100\% = 2,24\%$$

$$2) \frac{5,81}{94,19} \times 100\% = 2,45\%$$

$$3) \frac{5,32}{94,68} \times 100\% = 2,48\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,24 + 2,45 + 2,48}{3} = 2,39\%$$

Dari hasil pengujian kadar air yang telah dilakukan, didapatkan nilai kadar air pasir 5,51%, sedangkan kadar air pasir SSD didapatkan 2,39%.

b. Kadar Lumpur Pasir

Rumus:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{\text{Selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

Dimana :

Selisih = berat kering semula – berat kering tetap

Berat kering tetap = berat yang telah dioven 24 jam

Tabel 11. Data Kadar Lumpur Pasir

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|-------------------------------|--|----------------|-------|-------|
| | | I | II | III |
| 1. | Berat pasir kering tetap | 100 | 100 | 100 |
| 2. | Berat pasir kering tetap yang telah dicuci | 98,19 | 98,23 | 98,27 |
| 3. | Selisih | 1,81 | 1,77 | 1,73 |
| Kadar lumpur | | 1,84% | 1,80% | 1,76% |
| Kadar lumpur rata-rata | | 1,80% | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{1,81}{98,19} \times 100\% = 1,84\%$$

$$2) \frac{1,77}{98,23} \times 100\% = 1,80\%$$

$$3) \frac{1,73}{97,27} \times 100\% = 1,76\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,84 + 1,80 + 1,76}{3} = 1,80\%$$

Dari hasil pengujian kadar lumpur yang telah dilakukan, didapatkan nilai kadar lumpur pasir 1,80%.

c. Zat Organik Pasir

Pada pengujian zat organik pasir direndam dengan larutan NaOH 3% selama 24 jam dan hasil pengujian menunjukkan No. 2 pada alat test warna standar seperti terlihat pada gambar daibawah ini.



Gambar 16. Zat Organik Pasir
Sumber : Dokumentasi penulis

d. Berat Jenis Pasir

Rumus:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{100}{(B-A) - (C-A-100)}$$

Data:

Tabel 12. Data Berat Jenis Pasir

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| 1 | Berat pasir SSD | 100 | 100 | 100 |
| 2 | Berat tabung gelas kosong (A) | 340,9 | 340,9 | 340,9 |
| 3 | Berat tabung + air sampai penuh (B) | 1502,8 | 1502,23 | 1503,45 |
| 4 | Berat tabung + air + pasir (C) | 1564,1 | 1561,78 | 1562,67 |
| Berat jenis pasir | | 2,64 | 2,47 | 2,49 |
| Berat jenis pasir rata-rata | | 2,53 | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{100}{(1502,80 - 340,9) - (1564,10 - 340,9 - 100)} = 2,64$$

$$2) \frac{100}{(1502,23 - 340,9) - (1561,78 - 340,9 - 100)} = 2,47$$

$$3) \frac{100}{(1503,45 - 340,9) - (1562,67 - 340,9 - 100)} = 2,49$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,64 + 2,47 + 2,49}{3} = 2,53$$

Dari pengujian berat jenis pasir yang telah dilakukan, didapatkan nilai berat jenis rata-rata 2,53.

e. Berat Isi Pasir

Rumus:

$$\text{Berat Isi Pasir} = \frac{\text{berat pasir}}{\text{volume literan}}$$

Tabel 13. Data Berat Isi Padat Pasir

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| 1. | Berat literan | 275,30 | 275,30 | 275,30 |
| 2. | Berat literan + pasir | 1852.32 | 1810,49 | 1874,20 |
| 3. | Berat pasir | 1577,02 | 1535.19 | 1598,90 |
| 4. | Volume literan | 1 liter | 1 liter | 1 liter |
| Berat isi pasir (kg/l) | | 1,57 | 1,53 | 1,60 |
| Berat isi pasir rata-rata | | 1,56 kg/l | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{1577,02}{1000} = 1,57 \text{ gram/cm}^3 = 1,57 \text{ kg/l}$$

$$2) \frac{1535.19}{1000} = 1,53 \text{ gram/cm}^3 = 1,53 \text{ kg/l}$$

$$3) \frac{1598,90}{1000} = 1,60 \text{ gram/cm}^3 = 1,60 \text{ kg/l}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,57 + 1,53 + 1,60}{3} = 1,56 \text{ kg/l}$$

Data:

Tabel 14. Data Berat Isi gembur Pasir

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| 1. | Berat literan | 275,30 | 275,30 | 275,30 |
| 2. | Berat literan + pasir yang dipadatkan | 1652.55 | 1652.45 | 1652.58 |
| 3. | Berat pasir | 1377,25 | 1377,15 | 1377,28 |
| 4. | Volume literan | 1 liter | 1 liter | 1 liter |
| Berat isi pasir (kg/l) | | 1,37 | 1,37 | 1,37 |
| Berat isi pasir rata-rata | | 1,37 | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{1377,25}{1000} = 1,37 \text{ gram/cm}^3 = 1,37 \text{ kg/l}$$

$$2) \frac{1377,15}{1000} = 1,37 \text{ gram/cm}^3 = 1,37 \text{ kg/l}$$

$$3) \frac{1377,28}{1000} = 1,37 \text{ gram/cm}^3 = 1,37 \text{ kg/l}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,37 + 1,37 + 1,37}{3} = 1,37 \text{ kg/l}$$

Dari pengujian berat isi padat dan berat isi gembur yang telah dilakukan, didapat nilai berat isi padat 1,56 kg/l dan berat isi gembur 1,37 kg/l.

f. Daya Serap Air Pasir

Rumus:

$$\text{Daya Serap K. U} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Daya Serap SSD} = \frac{C-B}{B} \times 100\%$$

Data:

Tabel 15. Data Daya Serap Pasir

| No | Pasir | Pasir | Pasir | % Daya Serap | |
|----|---------|-----------|-----------|--------------|-------------|
| | K.U (A) | K.O (B) | SSD (C) | Kering Udara | SSD |
| 1 | 600 gr | 574,64 gr | 584,56 gr | 4,41 | 1,72 |

Sumber : Hasil perhitungan

$$\begin{aligned} 1) \text{ Daya serap K.U} &= \frac{A-B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{600 - 574,64}{574,64} \times 100\% \\ &= 4,41\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Daya serap SSD} &= \frac{C-B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{584,56 - 574,64}{574,64} \times 100\% \\ &= 1,72\% \end{aligned}$$

Dari pengujian daya serap pasir yang telah dilakukan, didapatkan nilai daya serap K.U yaitu 4,415 sedangkan nilai daya serap SSD yaitu 1,72%.

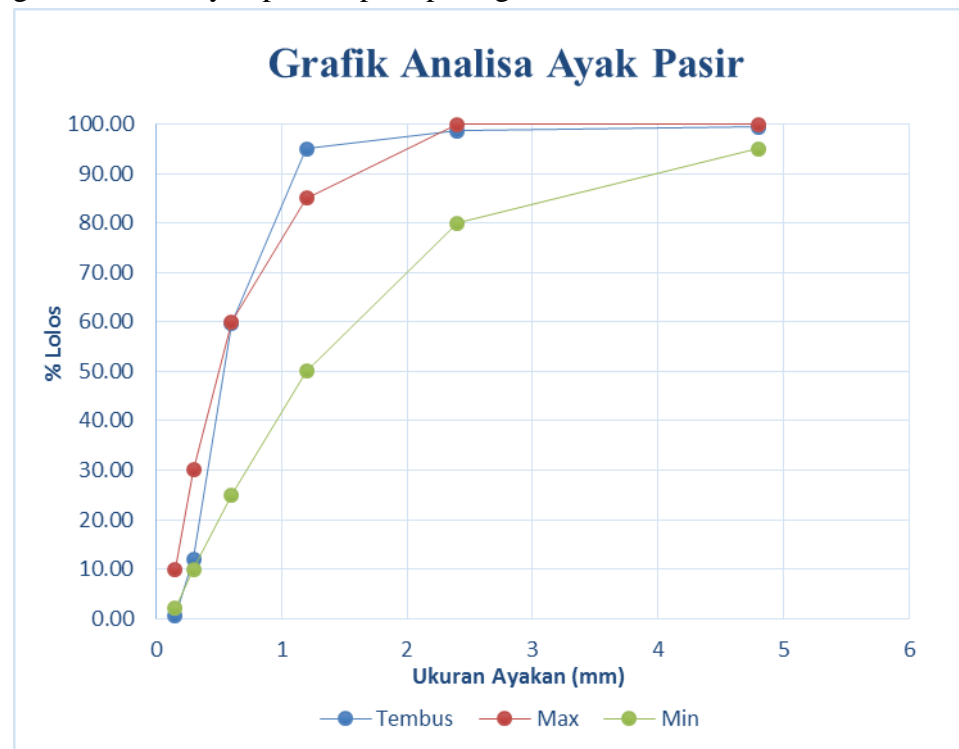
g. Analisa Saringan Pasir

Tabel 16. Analisis Saringan Pasir

| No | Ukuran Saringan | | Tertahan di Ayakan | | % Komulatif | |
|-----------------------------|-----------------|------|--------------------|--------|-------------|---------|
| | No. | Mm | Berat | % | Tertahan % | Lolos % |
| 1 | 3/8" | 9,5 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | No.4 | 4,75 | 13,40 | 1,34 | 1,34 | 98,66 |
| 3 | No.8 | 2,36 | 146,97 | 14,70 | 16,04 | 83,96 |
| 4 | No.16 | 1,18 | 199,68 | 19,97 | 36,01 | 63,99 |
| 5 | No.30 | 0,60 | 243,94 | 24,40 | 60,41 | 39,59 |
| 6 | No.50 | 0,30 | 182,23 | 18,22 | 78,63 | 21,37 |
| 7 | No.100 | 0,15 | 139,72 | 13,97 | 92,60 | 7,40 |
| 8 | - | Pan | 74,03 | 7,40 | 100 | 0,00 |
| Total | | | 999,97 | 100,00 | 284,62 | |
| FM (Angka Kehalusan) | | | | | 2,84 | |

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil analisis data yang terdapat pada Tabel 17. diperoleh grafik analisa ayak pasir seperti pada gambar berikut



Gambar 17. Grafik Analisa Ayakan Pasir

2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

a. Kadar Air Kerikil

Rumus:

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

Data :

Tabel 17. Hasil Pengujian Kadar Air Kerikil

| No | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | | Kadar air Rata-rata |
|--------------------|--------------------|----------------|--------|--------|---------------------|
| | | I | II | III | |
| 1 | Berat semula | 250 | 250 | 250 | 0,46% |
| 2 | Berat kering tetap | 249,19 | 249,05 | 248,32 | |
| 3 | Selisih | 0,81 | 0,95 | 1,68 | |
| Kadar Air Kerikil | | 0,32% | 0,38% | 0,67% | |
| Kerikil SSD | | | | | |
| I | Berat SSD | 250 | 250 | 250 | 1,68% |
| II | Berat kering tetap | 245,87 | 245,04 | 246,67 | |
| III | Selisih | 4,13 | 4,96 | 3,33 | |
| Kadar Air Kerikil | | 1,67% | 2,02% | 1,35% | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{0,81}{249,19} \times 100\% = 0,32\%$$

$$2) \frac{0,95}{249,05} \times 100\% = 0,38\%$$

$$3) \frac{1,68}{248,32} \times 100\% = 0,67\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,32 + 0,38 + 0,67}{3} = 0,46\%$$

Kerikil SSD

$$1) \frac{4,13}{245,87} \times 100\% = 1,67\%$$

$$2) \frac{4,96}{245,04} \times 100\% = 2,02\%$$

$$3) \frac{3,33}{246,67} \times 100\% = 1,35\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,67 + 2,02 + 1,35}{3} = 1,68\%$$

Dari hasil pengujian kadar air yang dilakukan, didapatkan nilai kadar air kerikil 0,46%, sedangkan kadar air kerikil SSD didapatkan 1,68%.

b. Kadar Lumpur Kerikil

Rumus:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{\text{Selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

Data :

Tabel 18. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Kerikil

| No | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|-------------------------------|--|----------------|--------|--------|
| | | I | II | III |
| I | Berat kerikil kering tetap | 250,91 | 250,90 | 250,58 |
| II | Berat kerikil kering tetap yang telah dicuci | 250,27 | 250,22 | 250,06 |
| III | Selisih | 0,64 | 0,68 | 0,52 |
| Kadar Lumpur | | 0,25% | 0,27% | 0,20% |
| Kadar Lumpur Rata-rata | | 0,24% | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{0,64}{250,27} \times 100\% = 0,65\%$$

$$2) \frac{0,68}{250,22} \times 100\% = 0,455\%$$

$$3) \frac{0,52}{250,06} \times 100\% = 0,51\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,25 + 0,27 + 0,20}{3} = 0,24\%$$

Dari hasil pengujian kadar lumpur yang telah dilakukan, didapatkan nilai kadar lumpur kerikil 0,24%.

c. Berat Jenis Kerikil

Rumus:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{100}{(B-A) - (C-A-100)}$$

Dimana : A = Berat tabung gelas kosong

B = Berat tabung gelas + air

C = Berat tabung gelas + air + kerikil

Tabel 19. Hasil Pengujian Berat Jenis Kerikil

| No | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------|--------|
| | | I | II | III |
| I | Berat kerikil SSD | 250 | 250 | 250 |
| II | Berat tabung gelas kosong | 340,9 | 340,9 | 340,9 |
| III | Berat tabung gelas+air | 1464,5 | 1478,5 | 1474,8 |
| IV | Berat tabung gelas+air+kerikil | 1618,7 | 1631,3 | 1629,8 |
| Berat Jenis Kerikil | | 2,60 | 2,57 | 2,63 |
| Berat Jenis Kerikil Rata-rata | | 2,60 | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{250}{(1464,5 - 340,9) - (1618,7 - 340,9 - 250)} = 2,60$$

$$2) \frac{250}{(1478,5 - 340,9) - (1631,3 - 340,9 - 250)} = 2,57$$

$$3) \frac{250}{(1474,8 - 340,9) - (1629,8 - 340,9 - 250)} = 2,63$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,60 + 2,57 + 2,63}{3} = 2,60$$

Dari pengujian berat jenis pasir yang telah dilakukan, didapatkan nilai berat jenis rata-rata 2,60.

d. Berat Isi Kerikil

Rumus:

$$\text{Berat Isi Kerikil} = \frac{\text{berat Kerikil}}{\text{volume literan}}$$

Tabel 20. Hasil Pengujian Berat Isi Padat Kerikil

| No | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| I | Berat literan | 859,20 | 859,20 | 859,20 |
| II | Berat literan+kerikil | 8165 | 8230 | 8246 |
| III | Berat kerikil | 7305,8 | 7370,8 | 7386,8 |
| IV | Volume literan | 5 liter | 5 liter | 5 liter |
| Berat Isi Kerikil (kg/l) | | 1,46 | 1,47 | 1,48 |
| Berat Isi Kerikil Rata-rata | | 1,47 kg/l | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{7305,8}{5000} = 1,46 \text{ gram/cm}^3 = 1,46 \text{ kg/l}$$

$$2) \frac{7370,8}{5000} = 1,47 \text{ gram/cm}^3 = 1,47 \text{ kg/l}$$

$$3) \frac{7386,8}{5000} = 1,48 \text{ gram/cm}^3 = 1,48 \text{ kg/l}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,46 + 1,47 + 1,48}{3} = 1,47 \text{ kg/l}$$

Tabel 21. Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Kerikil

| No | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| I | Berat literan | 859,20 | 859,20 | 859,20 |
| II | Berat literan+kerikil yang dipadatkan | 7651 | 7732 | 7692 |
| III | Berat kerikil | 6791,8 | 6872,8 | 6832,8 |
| IV | Volume literan | 5 liter | 5 liter | 5 liter |
| Berat Isi Kerikil (kg/l) | | 1,35 | 1,37 | 1,36 |
| Berat Isi Kerikil Rata-rata | | 1.37 kg/l | | |

Sumber : Hasil perhitungan

$$1) \frac{6791,8}{5000} = 1,35 \text{ gram/cm}^3 = 1,35 \text{ kg/l}$$

$$2) \frac{6872,8}{5000} = 1,37 \text{ gram/cm}^3 = 1,37 \text{ kg/l}$$

$$3) \frac{6832,8}{5000} = 1,36 \text{ gram/cm}^3 = 1,36 \text{ kg/l}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,35 + 1,37 + 1,36}{3} = 1,37 \text{ kg/l}$$

Dari pengujian berat isi padat dan berat isi gembur yang telah dilakukan, didapat nilai berat isi padat 1,47 kg/l dan berat isi gembur 1,37 kg/l.

e. Daya Serap Kerikil

Rumus:

$$\text{Daya serap K. U} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Daya serap SSD} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Tabel 22. Data Daya Serap Kerikil

| No | Kerikil K.U (A) | Kerikil K.O (B) | Kerikil SSD (C) | % Daya Serap | |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|
| | | | | Kering Udara | SSD |
| 1 | 1000 gr | 995,47 gr | 1023,13 gr | 0,45 | 2,63 |

Sumber : Hasil perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Daya serap K.U} &= \frac{A - B}{B} \times 100\% \\
 &= \frac{1000 - 996,86}{996,86} \times 100\% \\
 &= 0,45\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Daya serap SSD} &= \frac{C - B}{B} \times 100\% \\
 &= \frac{1023,13 - 996,86}{996,86} \times 100\% \\
 &= 2,63\%
 \end{aligned}$$

Dari pengujian daya serap pasir yang telah dilakukan, didapatkan nilai daya serap K. U yaitu 0,45% sedangkan daya seap SSD yaitu 2,63%.

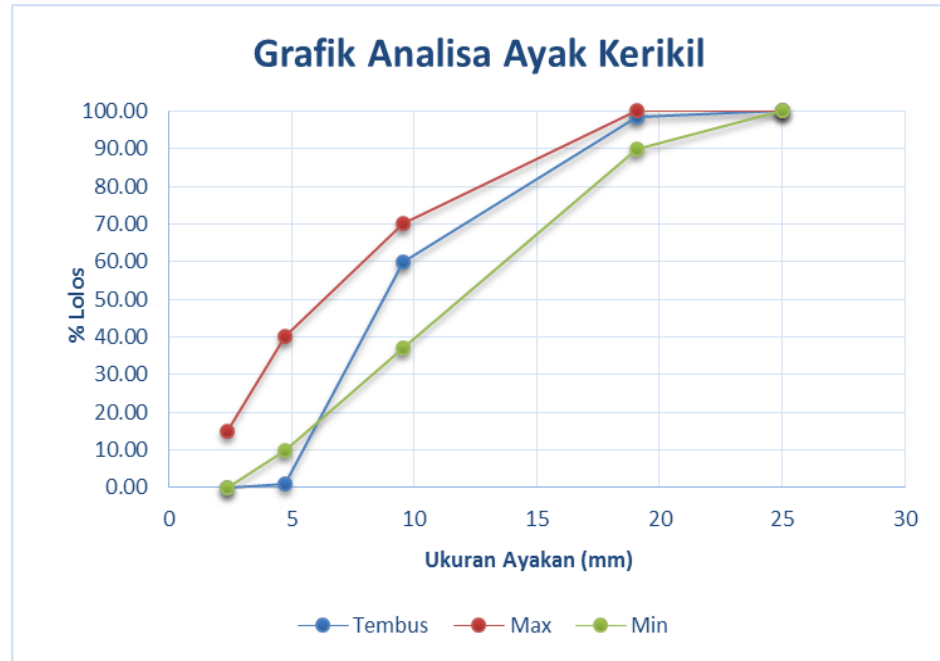
f. Analisa Ayak Kerikil

Tabel 23. Analisa Ayak Kerikil

| No | Ukuran Saringan | | Tertahan di Ayakan | | % Komulatif | |
|-----------------------------|-----------------|------|--------------------|-----------------|-------------|---------|
| | No. | Mm | Berat | Persen Tertahan | Tertahan % | Lolos % |
| 1 | 1 | 25 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | ¾ | 19,1 | 85,70 | 1,71 | 1,71 | 98,29 |
| 3 | 1/2 | 9,52 | 1915,32 | 38,31 | 40,02 | 59,98 |
| 4 | 3/8 | 4,8 | 2948,66 | 58,98 | 99 | 1,00 |
| 5 | No.4 | 2,4 | 49,62 | 1,00 | 100 | 0,00 |
| 6 | - | Pan | - | - | - | 100,00 |
| Total | | | 4999,3 | 100,00 | 240,73 | |
| FM (Angka Kehalusan) | | | | | 2,40 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisis data yang terdapat pada Tabel 18. diperoleh grafik analisa ayak kerikil (agregat kasar) seperti pada gambar berikut.



Gambar 18. Grafik Analisa Ayakan Kerikil

g. Kekerasan Agregat Kasar dengan *Los Angeles*

Rumus :

$$\text{Kekerasan Agregat (C)} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Tabel 24. Susunan Butiran Contoh yang Diuji, Jumlah Bola Baja dan Jumlah Putaran Mesin

| Ø Ayakan (mm) | | Berat Contoh yang Diuji | | | | | | |
|---------------|--------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|---|---|---|
| Tertinggal | Tembus | 1 | 2 | 3a | 3b | 4 | 5 | 6 |
| 63 | 75 | 2500 ±50 | | | | | | |
| 50 | 63 | 2500 ±50 | | | | | | |
| 37,5 | 50 | 5000 ±50 | 5000 ±50 | | | | | |
| 25 | 37,5 | | 5000 ±25 | 5000 ±25 | 1250 ±25 | | | |

| | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 19 | 25 | | | 5000 ±25 | 1250 ±25 | | | |
| 12,5 | 19 | | | | 1250 ±10 | 2500 ±10 | | |
| 9,5 | 12,5 | | | | 1250 ±10 | 2500 ±10 | | |
| 6,3 | 9,5 | | | | | | 2500 ±10 | |
| 4,8 | 6,3 | | | | | | 2500 ±10 | |
| 2,4 | 4,8 | | | | | | | 5000 ±10 |
| Jumlah contoh diuji | 10.000 ±100 | 10.000 ±75 | 10.000 ±50 | 5.000 ±10 | 5.000 ±10 | 5.000 ±10 | 5.000 ±10 | 5.000 ±10 |
| Jumlah bola baja | 12 butir | 12 butir | 12 butir | 12 butir | 11 butir | 8 butir | 8 butir | 8 butir |
| Jumlah putaran bejana | 1000x | 1000x | 1000x | 500x | 500x | 500x | 500x | 500x |

Sumber: Lab Sheet Bahan dan Bangunan 2

Berdasarkan hasil dari analisa ayak kerikil maka didapat penggunaan bola baja sebanyak 11 butir. Hasil pengujian dengan alat *Los Angeles Test* yaitu sebagai berikut:

$$A = 5000 \text{ gr}$$

$$B = 3624,05 \text{ gr}$$

Ket :

A = berat contoh semula kering tetap

B = berat contoh sesudah digiling, dicuci dan kering tetap

C = ketahanan agregat

$$\begin{aligned} \text{Kekerasan Agregat (C)} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 3624,05}{5000} \times 100\% \\ &= 27,52 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis pengujian kekerasan kerikil dengan *Los Angeles*, didapatkan persen kehancuran kerikil sebesar 27,52 %.

3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Cangkang Buah Karet

a. Kadar Cangkang Buah Karet

Rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{selisih}}{\text{berat kering tetap}} \times 100\%$$

Dimana:

Selisih = berat kering semula – berat kering tetap

Berat kering tetap = berat yang telah dioven 24 jam

Tabel 25. Hasil Pengujian Kadar Air Cangkang Buah Karet

| No | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | | Kadar air Rata-rata |
|--------------------------------|--------------------|----------------|--------|--------|---------------------|
| | | I | II | III | |
| I | Berat semula | 250 | 250 | 250 | 4,94% |
| II | Berat kering tetap | 237,91 | 237,41 | 239,34 | |
| III | Selisih | 14,09 | 12,59 | 10,66 | |
| Kadar air CBK | | 5,08% | 5,30% | 4,45% | |
| Cangkang Buah Karet SSD | | | | | |
| I | Berat SSD | 250 | 250 | 250 | 16,27% |
| II | Berat kering tetap | 212,53 | 215,11 | 217,44 | |
| III | Selisih | 37,47 | 34,89 | 32,56 | |
| Kadar air CBK | | 17,63% | 16,21% | 14,97% | |

Sumber : Hasil Perhitungan

$$1) \frac{14,09}{237,91} \times 100\% = 5,08\%$$

$$2) \frac{12,59}{237,41} \times 100\% = 5,30\%$$

$$3) \frac{10,66}{239,34} \times 100\% = 4,45\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{5,08 + 5,30 + 4,45}{3} = 4,94\%$$

Cangkang buah karet SSD

$$1) \frac{37,47}{212,53} \times 100\% = 17,63\%$$

$$2) \frac{34,89}{215,11} \times 100\% = 16,21\%$$

$$3) \frac{32,56}{217,44} \times 100\% = 14,97\%$$

$$\text{Rata – rata} = \frac{17,63 + 16,21 + 14,97}{3} = 16,27\%$$

Dari hasil pengujian kadar air yang telah dilakukan, didapatkan nilai kadar air cangkang buah karet 4,94 %, sedangkan kadar air cangkang buah karet dalam keadaan SSD didapatkan 16,27 %.

b. Berat Jenis Cangkang Buah Karet

Rumus:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{250}{(B-A) - (C-A-250)}$$

Data:

Tabel 26. Data Berat Jenis Cangkang Buah Karet

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|--|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| 1 | Berat CBK SSD | 250 | 250 | 250 |
| 2 | Berat tabung gelas kosong (A) | 318,90 | 318,90 | 318,90 |
| 3 | Berat tabung + air sampai penuh (B) | 1440,80 | 1438,34 | 1453,67 |
| 4 | Berat tabung + air + pasir (C) | 1452,74 | 1467,86 | 1478,34 |
| Berat jenis pasir | | 1,05 | 1,13 | 1,11 |
| Berat jenis cangkang buah karet rata-rata | | 1,10 | | |

Sumber : Hasil Perhitungan

$$1) \frac{100}{(1440,80 - 318,90) - (910,4 - 318,90 - 250)} = 1,05$$

$$2) \frac{100}{(1438,34 - 318,90) - (902,8 - 318,90 - 250)} = 1,13$$

$$3) \frac{100}{(1453,67 - 318,90) - (914,6 - 318,90 - 250)} = 1,11$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,05 + 1,13 + 1,11}{3} = 1,10$$

Dari pengujian berat jenis cangkang buah karet yang telah dilakukan, didapatkan nilai berat jenis rata-rata 1,10.

c. Berat Isi Cangkang Buah Karet

Rumus:

$$\text{Berat isi CBK} = \frac{\text{berat CBK}}{\text{volume literan}}$$

Data :

Tabel 27. Data Berat Isi Padat Cangkang Buah Karet

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|----------------------------|---------------------|------------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| 1 | Berat literan | 859,20 | 859,20 | 859,20 |
| 2 | Berat literan + CBK | 2425 | 2435 | 2456 |
| 3 | Berat CBK | 1565,80 | 1575,80 | 1586,80 |
| 4 | Volume literan | 5 liter | 5 liter | 5 liter |
| Berat isi CBK (kg/l) | | 0,31 | 0,32 | 0,32 |
| Berat isi rata-rata | | 0,32 kg/l | | |

Sumber : Hasil Perhitungan

$$1) \frac{1565,80}{5000} = 0,31 \text{ gram/cm}^3 = 0,31 \text{ kg/l}$$

$$2) \frac{1575,80}{5000} = 0,32 \text{ gram/cm}^3 = 0,32 \text{ kg/l}$$

$$3) \frac{1586,80}{5000} = 0,32 \text{ gram/cm}^3 = 0,32 \text{ kg/l}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,31 + 0,32 + 0,32}{3} = 0,32 \text{ kg/l}$$

Tabel 28. Data Berat Isi Gembur Cangkang Buah Karet

| No. | Jenis Perlakuan | Pengujian (gr) | | |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | I | II | III |
| 1 | Berat literan | 859,20 | 859,20 | 859,20 |
| 2 | Berat literan + CBK yang dipadatkan | 2251 | 2247 | 2258 |
| 3 | Berat CBK | 1391,8 | 1387,8 | 1398,8 |
| 4 | Volume literan | 5 liter | 5 liter | 5 liter |
| Berat isi CBK (kg/l) | | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Berat isi rata-rata | | 0,28 | | |

Sumber : Hasil Perhitungan

$$1) \frac{1391,80}{5000} = 0,28 \text{ gram/cm}^3 = 0,28 \text{ kg/l}$$

$$2) \frac{1387,80}{5000} = 0,28 \text{ gram/cm}^3 = 0,28 \text{ kg/l}$$

$$3) \frac{1398,80}{5000} = 0,28 \text{ gram/cm}^3 = 0,28 \text{ kg/l}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,28 + 0,28 + 0,28}{3} = 0,28 \text{ kg/l}$$

Dari pengujian berat isi padat dan berat isi gembur yang telah dilakukan, didapat nilai berat isi padat 0,32 kg/l dan berat isi gembur 0,28 kg/l.

d. Daya Serap Air Cangkang Buah Karet

Rumus:

$$\text{Daya Serap K.U} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Daya Serap SSD} = \frac{C-B}{B} \times 100\%$$

Data:

Tabel 29. Data Daya Serap Cangkang Buah Karet

| No | CBK | CBK | CBK | % Daya Serap | |
|----|---------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| | K.U (A) | K.U (B) | SSD (C) | Kering Udara | SSD |
| 1 | 250 gr | 235,24 gr | 265,78 gr | 6,27 | 12,98 |

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\begin{aligned} 1) \text{ Daya serap K.U} &= \frac{A-B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{250-235,24}{235,24} \times 100\% \\ &= 6,27 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Daya serap SSD} &= \frac{C-B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{265,78-235,24}{235,24} \times 100\% \\ &= 12,98 \% \end{aligned}$$

Dari pengujian daya serap cangkang buah karet yang telah dilakukan, didapatkan nilai daya serap K. U yaitu 6,27 %, sedangkan daya serap SSD yaitu 12,98 %.

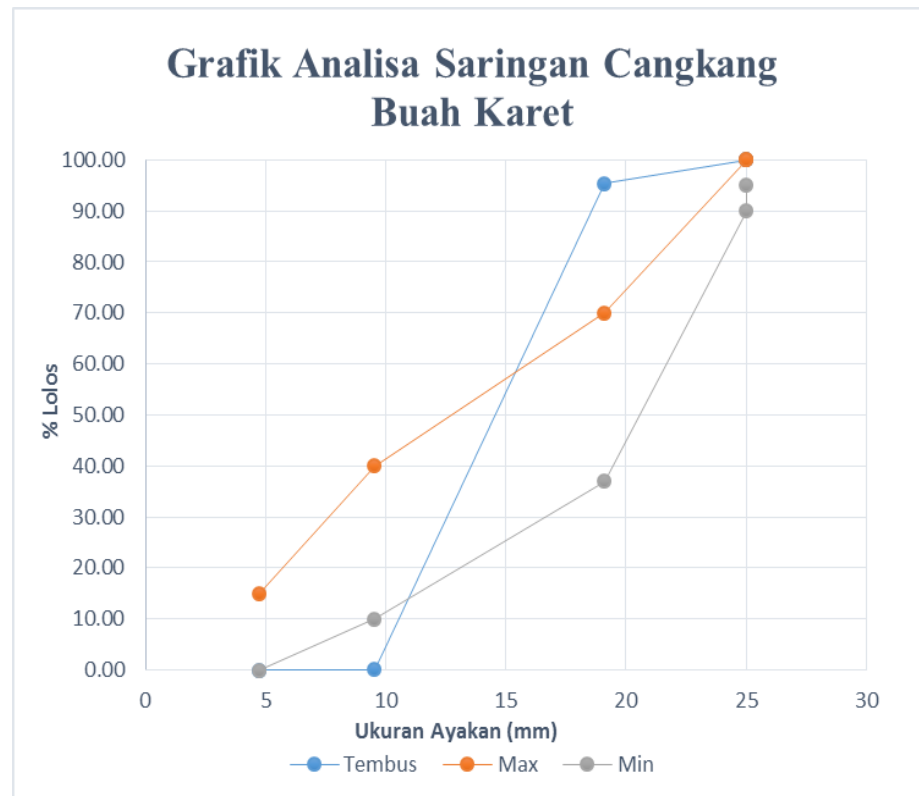
e. Analisa Ayak Cangkang Buah Karet

Tabel 30. Data Analisa Ayak Cangkang Buah Karet

| No | Ukuran Saringan | | Tertahan di Ayakan | | % Komulatif | |
|----------------------|-----------------|------|--------------------|-----------------|-------------|---------|
| | No. | Mm | Berat | Persen Tertahan | Tertahan % | Lolos % |
| 1 | 1 | 25 | 0 | 0 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | ¾ | 19,1 | 0 | 0 | 0,00 | 100,00 |
| 3 | 1/2 | 9,52 | 231,45 | 4,63 | 4,63 | 95,37 |
| 4 | 3/8 | 4,8 | 4767,23 | 95,34 | 99,97 | 0,03 |
| 5 | No.4 | 2,4 | 1,17 | 0,03 | 100 | 0,00 |
| 6 | - | Pan | - | - | - | 100,00 |
| Total | | | 4999,85 | 100,00 | 204,60 | |
| FM (Angka Kehalusan) | | | | | 2,05 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisis data yang terdapat pada Tabel 19. diperoleh grafik analisa ayak cangkang buah karet seperti pada gambar berikut.



Gambar 19. Grafik Analisa Ayak Cangkang Buah Karet

f. Kekerasan Cangkang Buah Karet dengan *Los Angeles*

Berdasarkan hasil dari analisa ayak cangkang buah karet, maka didapat penggunaan bola baja sebanyak 11 butir. Hasil pengujian dengan alat *Los Angeles Test* yaitu sebagai berikut:

$$A = 5000 \text{ gr}$$

$$B = 4256,24 \text{ gr}$$

Rumus :

$$\text{Kekerasan CBK (C)} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Dimana :

A = berat contoh semula kering tetap

B = berat contoh sesudah digiling, dicuci dan kering tetap

C = ketahanan agregat

$$\begin{aligned} \text{Kekerasan CBK (C)} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 4256,24}{5000} \times 100\% \\ &= 14,87 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis pengujian kekerasan cangkang buah karet dengan *Los Angeles*, didapatkan persen kehancuran kerikil sebesar 14,87 %.

Dari hasil pengujian agregat, didapatkan Rekapitulasi Hasil Pengujian Material sebagai berikut:

Tabel 31. Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir

| No | PARAMETER | HASIL | SATUAN | SPEKIFIKASI SI MAX/MIN | METODE |
|----|--|---|--------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | Analisa Saringan Susunan Saringan 11/2 @ 38.1 mm 3/4 @ 19.0 mm 3/8 @ 9.5 mm No:4 @ 4.8 mm 8 @ 2.4 mm 16 @ 1.2 mm 30 @ 0.6 mm 50 @ 0.3 mm 100 @ 0.15 mm 200 @ 0.075 mm | - 98,66 83,96 63,99 39,59 21,37 7,40 - | % | - | SNI-1968- 990-F |
| 2 | Modulus Kehalusan | 2,84 | | 1,5 - 3,8 | SII.0052 |
| 3 | Kandungan Zat Organik | No.2 | | Warna Standar Max. No.3 | SNI-03- 2816-1992 |
| 4 | Berat Isi Gembur | 1,37 | kg/l | Min. 1,2 kg/l | PB-0204-76 |
| | Berat Isi Padat | 1,56 | kg/l | | |
| 5 | Berat Jenis | 2,53 | - | Min. 2,3 | SNI-1970- 1990-F |
| 6 | Kadar lumpur | 1,80 | % | Max. 5% | SII.0052 |
| 7 | Penyerapan Air Nyata | 4,41 | % | Max 5% | SNI-1970- 1990-F |
| | Penyerapan air SSD | 1,72 | | | |

Tabel 32. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

| No | PARAMETER | HASIL | SATUAN | SPEKIFIKASI MAX/MIN | METODE |
|----|--|--|--------|--|-----------------|
| 1 | Analisa Saringan Susunan Saringan 11/2 @ 38.1 mm 3/4 @ 19.0 mm 3/8 @ 9.5 mm No:4 @ 4.8 mm 8 @ 2.4 mm 16 @ 1.2 mm 30 @ 0.6 mm 50 @ 0.3 mm 100 @ 0.15 mm 200 @ 0.075 mm | 98,29 59,98 1,00 - - - - - - | % | - | SNI-1968-990-F |
| 2 | Modulus Kehalusan | 2,40 | | | SII.0052 |
| 3 | Berat Isi Gembur | 1,37 | kg/l | Min. 1,2 kg/l | PB-0204-76 |
| | Berat Isi Padat | 1,47 | kg/l | | |
| 4 | Berat Jenis | 2,60 | - | Min. 2,3 | SNI-1970-1990-F |
| 5 | Kadar lumpur | 0,24 | % | Max. 5% | SII.0052 |
| 6 | Keausan | 27,52 | % | Max. 27% ¹⁾ 27-30% ²⁾ 40-50% ³⁾ | PUBI 1982 |
| 7 | Penyerapan Air Nyata | 0,45 | % | Max 5% | SNI-1970-1990-F |
| | Penyerapan Air SSD | 2,64 | | | |

Catatan : 1) Untuk nilai K >225
2) Untuk nilai K 175 s/d 225
3) Untuk nilai K <125

Tabel 33. Rekapitulasi Hasil Pengujian Cangkang Buah Karet

| No | PARAMETER | HASIL | SATUAN | SPESIFIKASI MAX/MIN | METODE |
|----|--|--|--------|--|-----------------|
| 1 | Analisa Saringan Susunan Saringan 11/2 @ 38.1 mm ¾ @ 19.0 mm 3/8 @ 9.5 mm No:4 @ 4.8 mm 8 @ 2.4 mm 16 @ 1.2 mm 30 @ 0.6 mm 50 @ 0.3 mm 100 @ 0.15 mm 200 @ 0.075 mm | - 95,37 0,03 - - - - - - | % | - | SNI-1968-990-F |
| 2 | Modulus Kehalusan | 2,05 | | 1,5 - 3,8 | SII.0052 |
| 3 | Berat Isi Gembur | 0,28 | kg/l | Min. 1,2 kg/l | PB-0204-76 |
| | Berat Isi Padat | 0,32 | kg/l | | |
| 4 | Berat Jenis | 1,10 | - | Min. 2,3 | SNI-1970-1990-F |
| 5 | Kadar lumpur | - | % | Max. 5% | SII.0052 |
| 6 | Keausan | 14,87 | % | Max. 27% ¹⁾ 27-30% ²⁾ 40-50% ³⁾ | PUBI 1982 |
| 7 | Penyerapan Air Nyata | 6,27 | % | Max 5% | SNI-1970-1990-F |
| | Penyerapan Air SSD | 12,98 | | | |

Catatan : 1) Untuk nilai K >225
2) Untuk nilai K 175 s/d 225
3) Untuk nilai K <125

B. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari, dengan perhitungan kuat tekan beton menggunakan rumus sebagai berikut.

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana : f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Adapun data yang diperoleh sebagai berikut :

1. Beton tanpa campuran cangkang buah karet (normal)

Dari hasil pengujian kuat tekan beton tanpa campuran cangkang buah karet (beton normal) yang telah dilakukan, diperoleh data seperti di bawah ini:

Tabel 34. Kuat Tekan Beton Tanpa Campuran Cangkang Buah Karet 0%

| Benda Uji | Beban Maksimum | Luas Penampang | Berat Beton | f_c' Beton |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| | (N) | (mm ²) | (kg) | (MPa) |
| 1 | 325100 | 17662,5 | 12,320 | 18,40 |
| 2 | 338000 | 17662,5 | 12,200 | 19,13 |
| 3 | 357600 | 17662,5 | 12,160 | 20,24 |
| Nilai rata-rata | | | 12,227 | 19,26 |

Sumber : Hasil perhitungan

$$a. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{325100}{17662,5} = 18,40 \text{ Mpa}$$

$$b. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{338000}{17662,5} = 19,13 \text{ Mpa}$$

$$c. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{357600}{17662,5} = 20,24 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{18,40 + 19,13 + 20,24}{3} = 19,26 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil analisis kuat tekan dan berat beton normal atau tanpa campuran cangkang buah karet didapatkan kuat tekan rata-rata 19,64 MPa dan berat rata-rata beton 12,227 kg.

2. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 3% agregat kasar

Dari hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 3% agregat yang telah dilakukan, diperoleh data seperti di bawah ini:

Tabel 35. Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Cangkang Buah Karet Sebagai Pengganti 3% Agregat Kasar

| Benda Uji | Beban Maksimum | Luas Penampang | Berat Beton | f_c' Beton |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| | (N) | (mm ²) | (kg) | (MPa) |
| 1 | 266900 | 17662,5 | 11,840 | 15,11 |
| 2 | 277800 | 17662,5 | 11,980 | 15,72 |
| 3 | 259900 | 17662,5 | 11,950 | 14,71 |
| Nilai rata-rata | | | 11,923 | 15,18 |

Sumber : Hasil perhitungan

$$a. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{260130}{17662,5} = 15,11 \text{ Mpa}$$

$$b. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{283300}{17662,5} = 15,72 \text{ Mpa}$$

$$c. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{259900}{17662,5} = 14,71 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{15,11 + 15,72 + 14,71}{3} = 15,18 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil analisis kuat tekan dan berat beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 3% agregat kasar didapatkan kuat tekan rata-rata 15,18 MPa dan berat beton rata-rata 11,923 kg.

3. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 6% agregat kasar

Dari hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 6% agregat kasar yang telah dilakukan, diperoleh data seperti di bawah ini.

Tabel 36. Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Cangkang Buah Karet Sebagai Pengganti 6% Agregat Kasar.

| Benda Uji | Beban Maksimum | Luas Penampang | Berat Beton | f_c' Beton |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| | (N) | (mm ²) | (kg) | (MPa) |
| 1 | 180600 | 17662,5 | 11,420 | 10,22 |
| 2 | 209400 | 17662,5 | 11,350 | 11,85 |
| 3 | 187000 | 17662,5 | 11,260 | 10,58 |
| Nilai rata-rata | | | 11,343 | 10,88 |

Sumber : Hasil perhitungan

$$a. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{180600}{17662,5} = 10,22 \text{ Mpa}$$

$$b. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{209400}{17662,5} = 11,85 \text{ Mpa}$$

$$c. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{187000}{17662,5} = 10,58 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{10,22 + 11,85 + 10,58}{3} = 10,88 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil analisis kuat tekan dan berat beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 6% agregat kasar didapatkan kuat tekan rata-rata 10,88 MPa dan berat beton rata-rata 11,343kg.

4. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 9% agregat kasar

Dari hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 9% agregat kasar yang telah dilakukan, diperoleh data seperti di bawah ini.

Tabel 37. Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Cangkang Buah Karet Sebagai Pengganti 9% Agregat Kasar

| Benda Uji | Beban Maksimum | Luas Penampang | Berat Beton | f_c' Beton |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| | (N) | (mm ²) | (kg) | (MPa) |
| 1 | 136300 | 17662,5 | 11,250 | 7,71 |
| 2 | 133650 | 17662,5 | 11,280 | 7,56 |
| 3 | 125600 | 17662,5 | 11,190 | 7,11 |
| Nilai rata-rata | | | 11,240 | 7,46 |

Sumber : Hasil perhitungan

- a. $f_c' = \frac{P}{A} = \frac{136400}{17662,5} = 7,71 \text{ Mpa}$
 b. $f_c' = \frac{P}{A} = \frac{133700}{17662,5} = 7,56 \text{ Mpa}$
 c. $f_c' = \frac{P}{A} = \frac{125600}{17662,5} = 7,11 \text{ Mpa}$
 d. Rata-rata = $\frac{7,71 + 7,56 + 7,11}{3} = 7,46 \text{ MPa}$

Berdasarkan hasil analisis kuat tekan dan berat beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 9% agregat kasar didapatkan kuat tekan rata-rata 7,46 MPa dan berat isi rata-rata 11,240 kg.

5. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 12% agregat kasar

Dari hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 12% agregat kasar yang telah dilakukan, diperoleh data seperti di bawah ini.

Tabel 38. Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Cangkang Buah Karet Sebagai Pengganti 12% Agregat Kasar

| Benda Uji | Beban Maksimum | Luas Penampang | Berat Beton | f_c' Beton |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| | (N) | (mm ²) | (kg) | (MPa) |
| 1 | 65900 | 17662,5 | 11,160 | 3,73 |
| 2 | 70900 | 17662,5 | 11,150 | 4,04 |
| 3 | 73400 | 17662,5 | 11,260 | 4,15 |
| Nilai rata-rata | | | 11,190 | 3,97 |

Sumber : Hasil perhitungan

- a. $f_c' = \frac{P}{A} = \frac{65900}{17662,5} = 3,73 \text{ Mpa}$
 b. $f_c' = \frac{P}{A} = \frac{70900}{17662,5} = 4,04 \text{ Mpa}$
 c. $f_c' = \frac{P}{A} = \frac{73400}{17662,5} = 3,97 \text{ Mpa}$
 Rata-rata = $\frac{3,73 + 4,01 + 4,15}{3} = 3,97 \text{ MPa}$

Berdasarkan hasil analisis kuat tekan dan berat beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 12% agregat kasar didapatkan kuat tekan rata-rata 3,97 MPa dan berat beton rata-rata 11,190 kg.

6. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 15% agregat kasar

Dari hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 15% agregat kasar yang telah dilakukan, diperoleh data seperti di bawah ini.

Tabel 39. Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Cangkang Buah Karet Sebagai Pengganti 15% Agregat Kasar

| Benda Uji | Beban Maksimum | Luas Penampang | Berat Beton | f_c' Beton |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| | (N) | (mm ²) | (kg) | (MPa) |
| 1 | 76300 | 17662,5 | 11,330 | 4,31 |
| 2 | 86200 | 17662,5 | 10,950 | 4,88 |
| 3 | 78700 | 17662,5 | 11,000 | 4,45 |
| Nilai rata-rata | | | 11,093 | 4,54 |

Sumber : Hasil perhitungan

$$a. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{76300}{17662,5} = 4,31 \text{ Mpa}$$

$$b. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{86200}{17662,5} = 4,88 \text{ Mpa}$$

$$c. f_c' = \frac{P}{A} = \frac{78700}{17662,5} = 4,45 \text{ Mpa}$$

$$d. \text{Rata-rata} = \frac{4,31 + 4,88 + 4,55}{3} = 4,54 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil analisis kuat tekan dan berat beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 15% agregat kasar didapatkan kuat tekan rata-rata 4,54 MPa dan berat beton rata-rata 11,093 kg.

C. Hasil dan Pembahasan

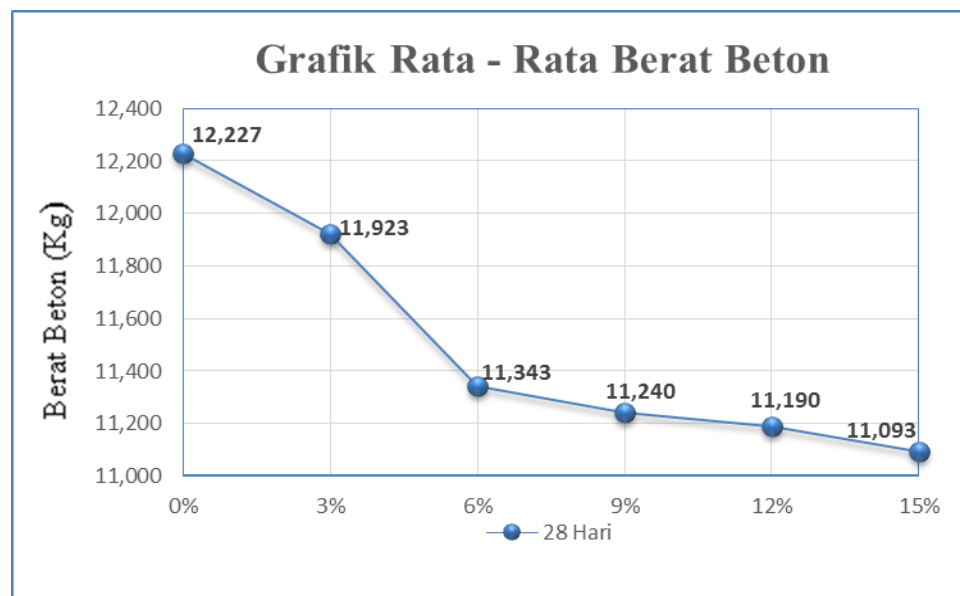
1. Hasil

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dapat diketahui kuat tekan dan berat dari masing-masing sampel beton dengan komposisi campuran 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% limbah cangkang buah karet dari berat agregat kasar. Kuat tekan rata-rata dan berat rata-rata beton dapat dilihat pada Tabel 4. 36 dibawah ini.

Tabel 40. Rata-Rata Berat dan Kuat Tekan Beton

| No | Sampel Benda Uji | Berat Beton (kg) | Kuat Tekan (MPa) |
|----|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 0% | 12,227 | 19,26 |
| 2 | 3% | 11,923 | 15,18 |
| 3 | 6% | 11,343 | 10,88 |
| 4 | 9% | 11,240 | 7,46 |
| 5 | 12% | 11,190 | 3,97 |
| 6 | 15% | 11,093 | 4,54 |

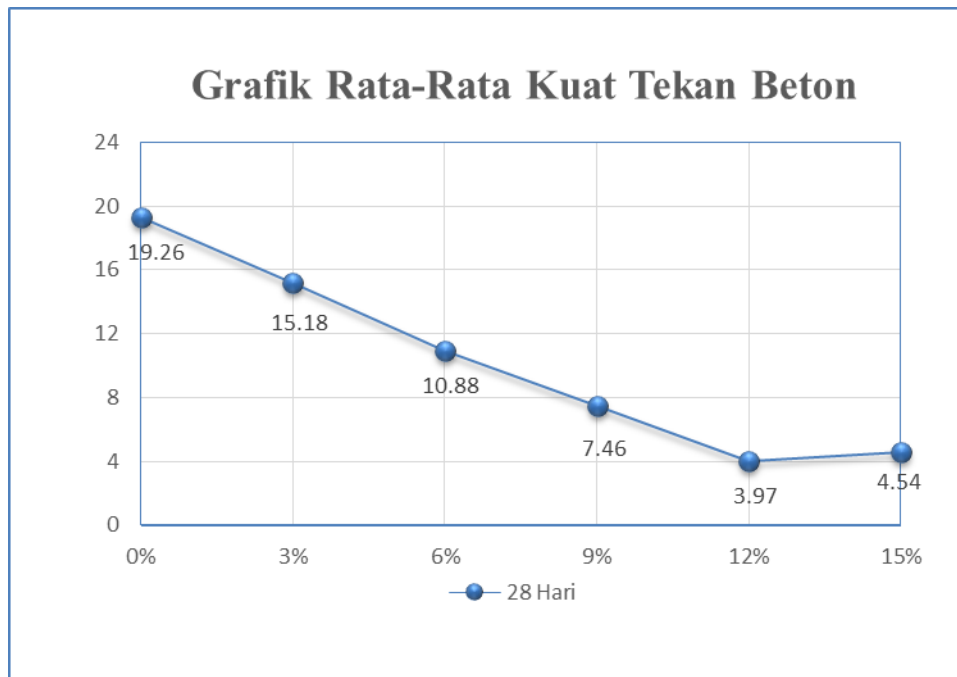
Setelah didapat rata-rata kuat tekan dan berat beton umur 28 hari, dapat diperjelas dengan grafik seperti pada gambar 20 dan 21 di bawah ini.



Gambar 20. Grafik Berat Rata - Rata Beton

Berdasarkan Gambar 20 diatas, didapatkan hasil berat rata-rata beton normal sebesar 12,227 Kg. Berat beton dengan campuran cangkang buah karet 3% adalah 11,923 Kg. Berat beton dengan campuran cangkang

buah karet 6% adalah 11,343 Kg. Berat beton dengan campuran cangkang buah karet 9% adalah 11,240 Kg. Berat beton dengan campuran cangkang buah karet 12% adalah 11,190 Kg. Berat beton dengan campuran cangkang buah karet 15% adalah 11,093 Kg.



Gambar 21. Grafik Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 21 diatas, didapatkan hasil pengujian kuat tekan beton tanpa cangkang buah karet sebesar 19,26 Mpa. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 3% agregat kasar kuat tekan yang diperoleh sebesar 15,18 Mpa. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 6% agregat kasar kuat tekan yang diperoleh sebesar 10,88 MPa. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 9% agregat kasar kuat tekan yang diperoleh sebesar 7,46 Mpa. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 12% agregat kasar kuat tekan yang diperoleh sebesar 3,97 Mpa. Beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti 15% agregat kasar kuat tekan yang diperoleh sebesar 4,54 Mpa.

2. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian material yang telah dilakukan sebelum pembuatan benda uji, karakteristik pasir dan agregat kasar (batu pecah) telah memenuhi standar dalam pembuatan beton sebagaimana terlihat dalam Tabel 31. Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir, Tabel 32. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat kasar. Akan tetapi, pada pengujian karakteristik cangkang buah karet tidak memenuhi standar yang telah ditentukan seperti yang terlihat dalam Tabel 33. Rekapitulasi Hasil Pengujian cangkang buah karet, dimana berat isi dan daya serap cangkang buah karet tidak sesuai standar.

Berat beton yang dihasilkan dengan penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton mengalami penurunan berat yang signifikan seiring dengan bertambahnya cangkang buah karet dalam campuran beton dibandingkan dengan beton tanpa cangkang buah karet. Berat beton dengan menggunakan cangkang buah karet dalam campuran beton akan menjadikan beton lebih ringan, hal ini disebabkan oleh berat jenis cangkang buah karet lebih ringan dari pada agregat kasar.

Kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti agregat kasar cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambah besarnya proporsi atau persentase cangkang buah karet. Penurunan kuat tekan beton pada penelitian ini terjadi karena tingginya kadar air dan daya serap cangkang buah karet. Berdasarkan pengujian kadar air dan daya serap, cangkang buah karet lebih besar dibandingkan dengan agregat halus dan agregat kasar. Besarnya air yang diserap oleh cangkang buah karet, akan mempengaruhi kekuatan beton, karena akan terjadi penguapan pada pengeringan beton. Penguapan air pada cangkang buah karet membuat rongga-rongga pada beton sehingga mengakibatkan kekuatan beton akan berkurang.

Selain itu, bentuk fisik cangkang buah karet yang pipih, permukaan yang licin, nilai berat jenis yang kecil, dan penyerapan yang tinggi juga

berpengaruh terhadap penurunan nilai kuat tekan beton yang mengakibatkan kurangnya daya lekatan antara semen dengan cangkang buah karet. Cangkang buah karet memiliki senyawa kimia yang dapat menghambat proses hidrasi semen yang mengakibatkan penurunan pasta semen dan memperlemah lekatan antara pasir, agregat kasar dan semen. Sampel beton dengan campuran cangkang buah karet juga mengalami perubahan warna kekuningan berbeda dengan beton normal, hal ini disebabkan oleh senyawa yang terkandung dalam cangkang buah karet. Semakin banyak jumlah cangkang buah karet yang dimasukkan kedalam campuran beton maka beton akan mengalami pengeroposan atau beton menjadi berpori, hal ini terjadi pada beton dengan persentase 15 % cangkang buah karet seperti yang terlihat pada lampiran 4. Dokumentasi Penelitian.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton yang dihasilkan dengan penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton, hasilnya tidak memenuhi standar kuat tekan beton struktur bertulang, dengan kisaran yang disyaratkan antara 17 – 35 Mpa (Juniman, S. 2014). Akan tetapi dengan persentase 3% sudah masuk dalam kategori beton normal (beton biasa), kuat tekan yang disyaratkan antara 15 – 30 Mpa (Tjokrodimulyo, 2007).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pemanfaatan cangkang buah karet sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton, maka dapat ditarik kesimpulan dari proyek akhir ini yaitu kuat tekan beton dengan campuran cangkang buah karet sebagai pengganti agregat kasar cenderung mengalami penurunan. Berat beton dengan menggunakan cangkang buah karet dalam campuran beton akan menjadikan beton lebih ringan. Kuat tekan beton yang dihasilkan dengan penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton, hasilnya tidak memenuhi standar kuat tekan beton struktur bertulang, dengan kisaran yang disyaratkan antara 17 – 35 Mpa (Juniman, S. 2014). Akan tetapi dengan persentase 3% sudah masuk dalam kategori beton normal kuat tekan yang disyaratkan antara 15 – 30 Mpa (Tjokrodimulyo, 2007). Berdasarkan hasil penelitian ini, maka cangkang buah karet tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam campuran beton. Hal ini disebabkan karena karakteristik dari cangkang buah karet tidak memenuhi standar sebagai material dalam pembuatan beton seperti, bentuk fisik cangkang buah karet yang pipih, permukaan yang licin, berat jenis yang kecil, berat isi yang rendah dan penyerapan yang tinggi.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat memberikan beberapa saran yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya, penggunaan cangkang buah karet disarankan dalam pembuatan batako dan beton ringan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat fisika maupun kimiawi dari cangkang buah karet dan pengaruh - pengaruh nya terhadap kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Iskandar G. Rani (2009). *Teknologi Beton Teori dan Praktik*. Padang: UNP Press.
- Juniman Silalahi. (2014). *Struktur Beton Bertulang Bangunan Gedung Analisis dan Perencanaan Berdasarkan SNI 2847-2013*. Padang: UNP PRESS.
- Nugraha, Paul & Antoni. (2007). *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Surabaya: Andi.
- Martono, J., Iriany. (2017). Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Buah Karet Dengan Aktivator H₃PO₄ Dan Aplikasinya Sebagai Penjerap Pb(II). E-Jurnal Universitas Sumatera Utara. Volume 6. No. 1. Hlm. 43—48.
- Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- SNI-03-1974-1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- SNI-03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
- SNI-03-2847-2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- SNI 15-2049-2004. Semen Portland
- Tim Labor Jurusan Teknik Sipil. 2010. *Labsheet Pengujian Bahan Bangunan 2*. Jurusan Teknik Sipil FT UNP.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Universitas Negeri Padang. (2014). *Buku Panduan Penulisan Proyek Akhir*. Padang: UNP.
- Vinsiah, Rananda., Andi Suharman., dan Desi. (2014). Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kulit Buah Karet (*Hevea brasiliensis*). E-Jurnal Universitas Sriwijaya. Volume 1. No. 2. Hlm. 189--199.
- Yuhesti, Shela. (2014). Kajian Eksperimental Penggunaan Limbah Biji Karet Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Ringan Kombinasi Pasir Tanjung Raja dan Conplast WP241. E-Jurnal Universitas Sriwijaya. Volume 2. No. 3. Hlm. 344--444.

Lampiran 1



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PERGURUAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. Prof. Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131
Telp. (0751) 7059996 FT. (0751) 7055644 445118 Fax. 7055644

SURAT TUGAS PEMBIMBING

No. 227/UN35.2.6/AK/2017

Sehubungan dengan pelaksanaan Proyek Akhir mahasiswa di bawah ini:

Nama : Dio Alif Dwana
NIM/TM : 2014/14062014
Judul : Pemanfaatan Cangkang Buah Karet Sebagai Bahan Tambah Agregat Terhadap Bobot Beton Dengan Kelayakan Pakai

Terdaftar pada KRS Semester Januari-Juni 2017

Berdasarkan persetujuan mahasiswa dengan Penasehat Akademis dan pertimbangan Jurusan, maka untuk membimbing mahasiswa tersebut di atas kami tugaskan kepada :

Nama : Prima Zola, ST., MT
NIP : 19790612 200312 2 001
Pangkat/Gol. : Penata / III.c
Jabatan : Lektor

Demikianlah Surat Tugas ini disampaikan untuk dilaksanakan. Atas kerja sama dan bantuannya diucapkan terima kasih.

Padang, 15 Juni 2017
Ketua,

Dr. Rijal Abdullah, MT.
NIP. 19610328 198609 1 001

Tembusan:

1. Dekan FT UNP Padang
2. Dosen Pembimbing
3. Mahasiswa Ybs.
4. Arsip.

Catatan: Proyek Akhir berlaku paling lama 1 tahun terhitung dari pengeluaran surat penugasan pembimbing

Lampiran 2.

Padang, 5 September 2017

Hal: Permohonan Pemakaian Labor

Kepada Yth,

Bapak Kepala Labor Bahan Bangunan dan Mekanika Tanah

Jurusan Teknik Sipil FT UNP

Di Tempat

Dr. Fajar Akhyar
Boleh di buat sesuai
judul labor
5/9/17

Dengan hormat,

Sehubungan dengan penelitian yang akan saya lakukan guna menyelesaikan Proyek Akhir, saya bermaksud melaksanakan penelitian di Laboratorium Bahan Bangunan dan Mekanika Tanah Teknik Sipil FT UNP. Maka dengan ini saya,

Nama : Dio Alif Dwana

Nim : 14062014

Prodi : Teknik Sipil dan Bangunan (D3)

Judul Proyek Akhir : Pemanfaatan Cangkang Buah Karet dalam Campuran Agregat
 Terhadap Kuat Tekan Beton

Mohon izin dari Bapak untuk dapat melakukan penelitian di Laboratorium Bahan Bangunan dan Mekanika Tanah Teknik Sipil FT UNP. Demikian surat permohonan ini saya buat, atas perhatian dari Bapak saya ucapkan terima kasih.

Mengetahui
 Dosen Pembimbing




Prima Zola, ST, MT
 NIP. 19790612 200312 2 0001

Hormat Saya,




Dio Alif Dwana
 NIM. 14062014

Lampiran 3.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL








Jl. Prof. Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131
Telp. (0751) 7059906, FT: (0751) 7055644, 445118 Fax. 7055644
E-mail: info@ft.unp.ac.id



Certified Management System
DIN EN ISO 9001:2000

KARTU BIMBINGAN PROYEK AKHIR

Nama : Dio Alif Dwana
NIM/BP : 14062014/2014
Program Studi : Teknik Sipil dan Bangunan (D3)
Dosen pembimbing : Prima Zola, S.T., M.T

| No. | Hari/ Tanggal | Rekomendasi/Catatan | Paraf Pembimbing |
|-----|------------------|---|---|
| 1 | Jum'at/21-7-2017 | - Perbaiki judul - " Latar belakang, tujuan pada Bab I - Batasan masalah yg diangkat pd latar belakang |  |
| 2 | Rabu/26-7-2017 | - Judul diperbaiki - Bab I Batasan masalah diperbaiki - Lari reverensi ^{revisi} TA - Lanjut Bab II |  |
| 3 | Selasa/8-8-2017 | - Tambahkan Bab II - lanjut Bab III - Acc penelitian |  |
| 4 | Selasa/22-8-2017 | - Lanjut Penelitian |  |
| 5 | Rabu/8-11-2017 | - Perbaiki flow chart di Bab III - Perbaiki Bab III |  |
| 6 | 4/1/2018 | - Perbaiki Pembahasan - Tambahkan Lampiran & gambar |  |
| 7 | 10/1/2018 | - Tambahkan Pembahasan |  |

Lampiran 4.

Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) bertujuan untuk menentukan komposisi kebutuhan agregat, semen, air, dan cangkang buah karet. Dalam rancangan campuran beton, sifat karakteristik material sangat mempengaruhi mutu yang dihasilkan. Perancangan campuran beton pada penelitian ini menggunakan metode SNI-03-2834-2000 tentang Rancangan Adukan Beton Normal.

Langkah-langkah perencanaan mix design (SNI-03-2834-2000) adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan rencana
Kuat tekan rencana ditetapkan 20 Mpa untuk umur 28 hari.
2. Deviasi standar
Deviasi standar ditetapkan 7Mpa berdasarkan volume beton yang akan dibuat.
3. Nilai tambah (Margin)
 $M = 1,64 \times \text{deviasi standar}$
 $M = 1,64 \times 7$
 $M = 11,5 \text{ Mpa}$
4. Kekuatan rata-rata yang ditargetkan
 $f_{cr} = f_c' + M$
 $= 20 + 11,5$
 $= 31,5 \text{ Mpa}$
5. Jenis semen tipe PCC
6. Jenis agregat halus dan kasar
Jenis agregat adalah halus alami dan adalah agregat kasar batu pecah.
7. Faktor air semen
Faktor air semen yang didapatkan adalah 0,56.
8. Faktor air semen maksimum
Faktor air semen maksimum ditetapkan untuk beton keadaan terlindung dari sinar matahari adalah 0,60.
9. Slump
Tinggi slump ditetapkan antara 60-180 mm.

10. Ukuran butir agregat maksimum

Ukuran butir agregat maksimum ditentukan 30 mm.

11. Kadar air bebas

Kadar air bebas didapatkan untuk jenis agregat halus dan agregat kasar berbeda tipe adalah

$$\frac{2}{3} \times 185 + \frac{1}{3} \times 220 = 197 \text{ kg/m}^3$$

12. Kadar semen

$$\text{Kadar semen} = \frac{197}{0,56} = 352 \text{ kg/m}^3$$

13. Kadar semen maksimum

Kadar semen maksimum ditetapkan 352 kg/m³.

14. Kadar semen minimum

Kadar semen minimum ditetapkan 275 kg/m³.

15. Faktor air semen yang disesuaikan

Karena kadar semen minimum sudah terpenuhi, maka faktor air semen tetap.

16. Susunan besar butir agregat halus

Daerah susunan butir agregat halus zona 2.

17. Persentase agregat halus

Persentase agregat halus didapat dari grafik dengan daerah gradasi zona 2 adalah 38 %.

18. Berat jenis relatif agregat

Berat jenis untuk agregat halus 2,53 dan agregat kasar 2,60.

$$\text{Berat jenis relatif} = \frac{38}{100} \times 2,53 + \frac{62}{100} \times 2,60 = 2,57$$

19. Berat jenis beton

Berat jenis beton didapatkan dari grafik dengan kadar air bebas 197 liter/m³ dan berat jenis relatif 2,57 adalah 2350 kg/m³.

20. Kadar agregat gabungan

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{bj beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2350 - 352 - 197 = 1801 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

21. Kadar agregat halus

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{38}{100} \times 1801 = 684 \text{ kg/m}^3$$

22. Kadar agregat kasar

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar ag. gabungan} - \text{kadar ag. halus} \\ &= 1801 - 684 = 1117 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Proporsi campuran beton

a. Kebutuhan per m^3

| | |
|---------------|------------|
| Semen | = 352 kg |
| Agregat halus | = 684 kg |
| Agregat Kasar | = 1117 kg |
| Air | = 197 kg/l |

b. Kebutuhan 1 benda uji

Dimensi selinder ($D = 0,15 \text{ m}$ dan $t = 0,3 \text{ m}$)

$$\text{Volume benda uji} = 0,25 \pi x D^2 x t$$

$$\text{Volume benda uji} = 0,25 x 3,14 x 0,15^2 x 0,3 = 0,006 \text{ m}^3$$

Kebutuhan 1 benda uji = *proporsi bahan per m^3 x volume benda uji*

| | |
|---------------|---|
| Semen | = 352 kg/m^3 x 0,006 m^3 = 2,112 kg |
| Agregat Halus | = 684 kg/m^3 x 0,006 m^3 = 4,104 kg |
| Agregat Kasar | = 1117 kg/m^3 x 0,006 m^3 = 6,702 kg |
| Air | = 197 kg/m^3 x 0,006 m^3 = 1,182 kg/l |

Lampiran 5.

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar 1. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus



Gambar 2. Penimbangan Agregat Halus



Gambar 3. Penimbangan Agregat Kasar



Gambar 4. Pengujian SSD Agregat Halus



Gambar 5. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus



Gambar 6. Pengujian Kadar Lumpur Agregat kasar



Gambar 7. Pengujian Analisis Ayak Agregat Halus



Gambar 8. Pengujian Analisis Ayak Cangkang Buah Karet



Gambar 9. Pengujian Analisis Ayak Agregat Kasar



Gambar 10. Pengujian *Los Angeles* Agregat Kasar



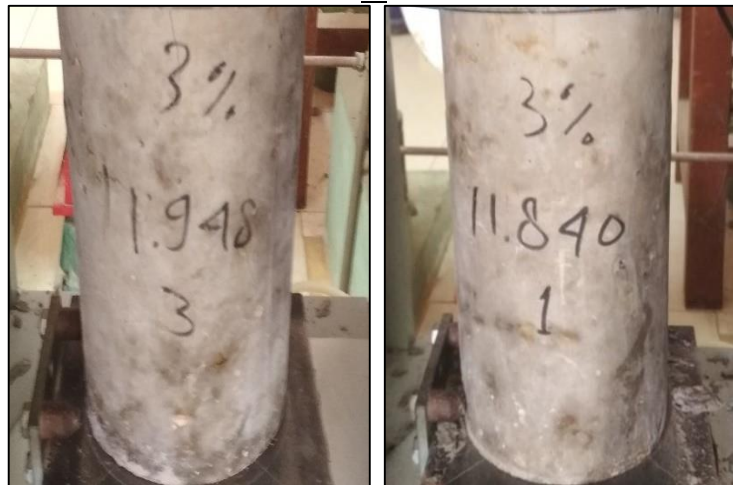
Gambar 11. Pengadukan Material Bahan Pembuatan Beton



Gambar 12. Pengujian Slump Sampel Beton



Gambar 13. Penuangan Campuran Beton Dalam Cetakan



Gambar 14. Sampel beton 3% Cangkang Buah Karet



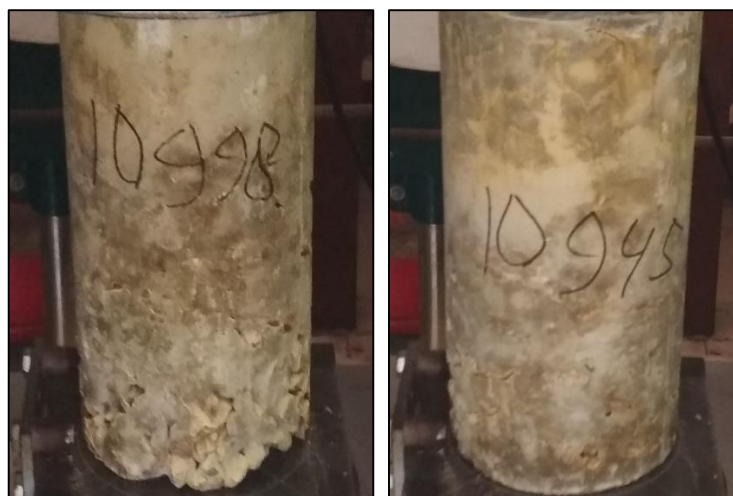
Gambar 15. Sampel beton 6% Cangkang Buah Karet



Gambar 16. Sampel beton 9% Cangkang Buah Karet



Gambar 17. Sampel beton 12% Cangkang Buah Karet



Gambar 18. Sampel beton 15% Cangkang Buah Karet



Gambar 19. Penimbangan Sampel Beton



Gambar 20. Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 21. Retakan Sampel Beton Setelah Pengujian Kuat Tekan Beton

Lampiran 6.

| | | | | | |
|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| Operating Mode | - Compression | Operating Mode | - Compression | Operating Mode | - Compression |
| Date | - 14/12/17 | Date | - 14/12/17 | Date | - 14/12/17 |
| Time | - 09:33:04 | Time | - 09:37:14 | Time | - 09:39:46 |
| Sample Reference | - 1 | Sample Reference | - 2 | Sample Reference | - 3 |
| Sample Type | - Cylinder/Core | Sample Type | - Cylinder/Core | Sample Type | - Cylinder/Core |
| Sample Units | - SI | Sample Units | - SI | Sample Units | - SI |
| Maximum Load | - 325.1 kN | Maximum Load | - 338.0 kN | Maximum Load | - 357.6 kN |
| Pace Rate | - 5.20 kN/sec | Pace Rate | - 5.20 kN/sec | Pace Rate | - 5.20 kN/sec |
| Stress | - 18.39 N/mm ² | Stress | - 19.13 N/mm ² | Stress | - 20.24 N/mm ² |
| Sample Height | - 300.0 mm | Sample Height | - 300.0 mm | Sample Height | - 300.0 mm |
| Sample Diameter | - 150.0 mm | Sample Diameter | - 150.0 mm | Sample Diameter | - 150.0 mm |
| Weight in Air | - 12320 g | Weight in Air | - 12200 g | Weight in Air | - 12160 g |
| Weight in Water | - 0.000 g | Weight in Water | - 0.000 g | Weight in Water | - 0.000 g |
| Sample Density | - 0.000 kg/m ³ | Sample Density | - 0.000 kg/m ³ | Sample Density | - 0.000 kg/m ³ |

| | | | | | |
|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| Operating Mode | - Compression | Operating Mode | - Compression | Operating Mode | - Compression |
| Date | - 14/12/17 | Date | - 14/12/17 | Date | - 14/12/17 |
| Time | - 09:41:59 | Time | - 09:44:20 | Time | - 09:46:49 |
| Sample Reference | - 1 | Sample Reference | - 2 | Sample Reference | - 3 |
| Sample Type | - Cylinder/Core | Sample Type | - Cylinder/Core | Sample Type | - Cylinder/Core |
| Sample Units | - SI | Sample Units | - SI | Sample Units | - SI |
| Maximum Load | - 266.9 kN | Maximum Load | - 277.8 kN | Maximum Load | - 259.9 kN |
| Pace Rate | - 5.20 kN/sec | Pace Rate | - 5.20 kN/sec | Pace Rate | - 5.20 kN/sec |
| Stress | - 15.11 N/mm ² | Stress | - 15.72 N/mm ² | Stress | - 14.71 N/mm ² |
| Sample Height | - 300.0 mm | Sample Height | - 300.0 mm | Sample Height | - 300.0 mm |
| Sample Diameter | - 150.0 mm | Sample Diameter | - 150.0 mm | Sample Diameter | - 150.0 mm |
| Weight in Air | - 11840 g | Weight in Air | - 11980 g | Weight in Air | - 11950 g |
| Weight in Water | - 0.000 g | Weight in Water | - 0.000 g | Weight in Water | - 0.000 g |
| Sample Density | - 0.000 kg/m ³ | Sample Density | - 0.000 kg/m ³ | Sample Density | - 0.000 kg/m ³ |

| | | | | | |
|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| Operating Mode | - Compression | Operating Mode | - Compression | Operating Mode | - Compression |
| Date | - 14/12/17 | Date | - 14/12/17 | Date | - 14/12/17 |
| Time | - 09:48:34 | Time | - 09:50:50 | Time | - 09:53:09 |
| Sample Reference | - 1 | Sample Reference | - 2 | Sample Reference | - 3 |
| Sample Type | - Cylinder/Core | Sample Type | - Cylinder/Core | Sample Type | - Cylinder/Core |
| Sample Units | - SI | Sample Units | - SI | Sample Units | - SI |
| Maximum Load | - 180.6 kN | Maximum Load | - 209.4 kN | Maximum Load | - 187.0 kN |
| Pace Rate | - 5.20 kN/sec | Pace Rate | - 5.20 kN/sec | Pace Rate | - 5.20 kN/sec |
| Stress | - 10.22 N/mm ² | Stress | - 11.85 N/mm ² | Stress | - 10.58 N/mm ² |
| Sample Height | - 300.0 mm | Sample Height | - 300.0 mm | Sample Height | - 300.0 mm |
| Sample Diameter | - 150.0 mm | Sample Diameter | - 150.0 mm | Sample Diameter | - 150.0 mm |
| Weight in Air | - 11420 g | Weight in Air | - 11350 g | Weight in Air | - 11260 g |
| Weight in Water | - 0.000 g | Weight in Water | - 0.000 g | Weight in Water | - 0.000 g |
| Sample Density | - 0.000 kg/m ³ | Sample Density | - 0.000 kg/m ³ | Sample Density | - 0.000 kg/m ³ |

| 8% | 9% | 9% |
|--|--|--|
| Operating Mode - Compression | Operating Mode - Compression | Operating Mode - Compression |
| Date - 16/12/17 | Date - 16/12/17 | Date - 16/12/17 |
| Time - 10:36:57 | Time - 10:39:03 | Time - 10:43:29 |
| Sample Reference - 1 | Sample Reference - 2 | Sample Reference - 3 |
| Sample Type - Cylinder/Core | Sample Type - Cylinder/Core | Sample Type - Cylinder/Core |
| Sample Units - SI | Sample Units - SI | Sample Units - SI |
| Maximum Load - 136.4 kN | Maximum Load - 133.7 kN | Maximum Load - 125.6 kN |
| Pace Rate - 5.30 kN/sec | Pace Rate - 5.30 kN/sec | Pace Rate - 5.30 kN/sec |
| Stress - 7.717 N/mm ² | Stress - 7.567 N/mm ² | Stress - 7.111 N/mm ² |
| Sample Height - 300.0 mm | Sample Height - 300.0 mm | Sample Height - 300.0 mm |
| Sample Diameter - 150.0 mm | Sample Diameter - 150.0 mm | Sample Diameter - 150.0 mm |
| Weight in Air - 11250 g | Weight in Air - 11280 g | Weight in Air - 11190 g |
| Weight in Water - 0.000 g | Weight in Water - 0.000 g | Weight in Water - 0.000 g |
| Sample Density - 0.000 kg/m ³ | Sample Density - 0.000 kg/m ³ | Sample Density - 0.000 kg/m ³ |

| 12% | 12% | 12% |
|--|--|--|
| Operating Mode - Compression | Operating Mode - Compression | Operating Mode - Compression |
| Date - 16/12/17 | Date - 16/12/17 | Date - 16/12/17 |
| Time - 10:10:23 | Time - 10:30:07 | Time - 10:34:46 |
| Sample Reference - 1 | Sample Reference - 2 | Sample Reference - 3 |
| Sample Type - Cylinder/Core | Sample Type - Cylinder/Core | Sample Type - Cylinder/Core |
| Sample Units - SI | Sample Units - SI | Sample Units - SI |
| Maximum Load - 65.9 kN | Maximum Load - 70.9 kN | Maximum Load - 73.4 kN |
| Pace Rate - 5.30 kN/sec | Pace Rate - 5.30 kN/sec | Pace Rate - 5.30 kN/sec |
| Stress - 3.729 N/mm ² | Stress - 4.014 N/mm ² | Stress - 4.151 N/mm ² |
| Sample Height - 300.0 mm | Sample Height - 300.0 mm | Sample Height - 300.0 mm |
| Sample Diameter - 150.0 mm | Sample Diameter - 150.0 mm | Sample Diameter - 150.0 mm |
| Weight in Air - 11160 g | Weight in Air - 11150 g | Weight in Air - 11260 g |
| Weight in Water - 0.000 g | Weight in Water - 0.000 g | Weight in Water - 0.000 g |
| Sample Density - 0.000 kg/m ³ | Sample Density - 0.000 kg/m ³ | Sample Density - 0.000 kg/m ³ |

| 15% | 15% | 15% |
|--|--|--|
| Operating Mode - Compression | Operating Mode - Compression | Operating Mode - Compression |
| Date - 16/12/17 | Date - 16/12/17 | Date - 16/12/17 |
| Time - 10:12:32 | Time - 10:21:31 | Time - 10:24:50 |
| Sample Reference - 1 | Sample Reference - 2 | Sample Reference - 3 |
| Sample Type - Cylinder/Core | Sample Type - Cylinder/Core | Sample Type - Cylinder/Core |
| Sample Units - SI | Sample Units - SI | Sample Units - SI |
| Maximum Load - 76.3 kN | Maximum Load - 86.2 kN | Maximum Load - 78.7 kN |
| Pace Rate - 5.30 kN/sec | Pace Rate - 5.30 kN/sec | Pace Rate - 5.30 kN/sec |
| Stress - 4.319 N/mm ² | Stress - 4.879 N/mm ² | Stress - 4.455 N/mm ² |
| Sample Height - 300.0 mm | Sample Height - 300.0 mm | Sample Height - 300.0 mm |
| Sample Diameter - 150.0 mm | Sample Diameter - 150.0 mm | Sample Diameter - 150.0 mm |
| Weight in Air - 11330 g | Weight in Air - 10950 g | Weight in Air - 11000 g |
| Weight in Water - 0.000 g | Weight in Water - 0.000 g | Weight in Water - 0.000 g |
| Sample Density - 0.000 g/cm ³ | Sample Density - 0.000 kg/m ³ | Sample Density - 0.000 kg/m ³ |