

PENGGUNAAN KACA SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN BAHAN TAMBAHAN PADA BETON MUTU TINGGI

SKRIPSI

Oleh :

UMAR HANDYANTO

NIM : 99.811.0019

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian
Persyaratan guna Memenuhi Gelar Sarjana Teknik Sipil**



**JURUSAN SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2001**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 8/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (Repository.uma.ac.id)8/1/24

PENGGUNAAN KACA SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN BAHAN TAMBAHAN PADA BETON MUTU TINGGI

OLEH

UMAR HANDYANTO
99.811.0019

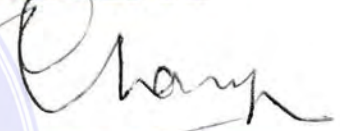
PEMBIMBING I



Ir. H. IRWAN, MT.

MENYETUJUI
KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING II



Ir. H. CHAMRIALSYAH N.

MENGETAHUI :

KETUA JURUSAN



Ir. H. IRWAN, MT.

DEKAN



Ir. H. YUSRI NST, SH

TANGGAL LULUS :

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL
UNIVERSITAS MEDAN AREA
M E D A N
2 0 0 1**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 8/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)8/1/24



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*' Orang-orang yang mendengarkan perkataan,
lalu mereka mengikuti yang paling baik
daripadanya, mereka itulah yang telah diberi
petunjuk oleh Allah, dan mereka itulah
orang-orang yang mempunyai pikiran '*
(Q.S. Az-Zummar : 18)

*' Kalau sekiranya lautan menjadi tinta untuk
(menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, sungguh
habislah lautan itu sebelum habis (ditulis)
kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun kami
datangkan tambahan sebanyak itu (pula) '*
(Q.S. Al-Kahfi : 109)

*Kupersembahkan Skripsi ini sebagai tanda cinta kasih dan
sembah wujudku kepada keluargaku tercinta, karena tanpa
mereka ini takkan ada.*

*Ibunda Dupjimi
Ayahanda Abdul Rahman
&*

*Calon Istriku (Lina)
Serta Bang Al & Otti*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena rahmat dan karuniaNya lah penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang merupakan satu diantara syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Ada pun judul tugas akhir ini adalah : **“PENGUNAAN KACA SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN BAHAN TAMBAHAN PADA BETON MUTU TINGGI”**. Dalam hal ini penyusun telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul yang dipilih namun dengan kemampuan yang masih terbatas, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tugas ini untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Dengan selesainya tugas akhir ini, penyusun tidak lupa menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik berupa moril maupun material.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibu Ketua Yayasan Haji Agus Salim, Universitas Medan Area.
2. Bapak Ir. Zulkarnaen Lubis, Msi. selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir. Yusri Nasution, SH. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

4. Bapak Ir. Irwan, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
5. Bapak Ir. Irwan MT sebagai Pembimbing I (Utama) yang banyak membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. Chamrialsyah sebagai Pembimbing II yang banyak memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Staf Dosen Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
8. Orang tua yang telah memberikan dorongan moril maupun material.
9. Rekan-rekan mahasiswa/I di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Akhirnya penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua dan merupakan sumbangan pikiran bagi mahasiswa/I Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Amin.

Medan, September 2001

Hormat Saya

UMAR HANDYANTO
99.811.0019

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTARAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang	1
1. 2. Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1. 3. Metodologi Penelitian	2
1. 4. Ruang Lingkup Penelitian	3
1. 5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1. Bahna Dasar Pembentuk Beton	6
II.1.1 Semen	6
II.1.2 Agregat	8
II.1.3 Admixture	14
II.2. Teori Dasar Beton Mutu Tinggi	14

II.3. Metode Desain Campuran Beton	16
II.4. Material Kaca	28
II.4.1. Keramik	28
II.4.2. Kaca	29
II.5. Penggunaan Agregat Buatan Dalam Beton	32
II.5.1. Agregat Buatan Dari Bahan Limbah	32
II.5.2. Agregat Halus Buatan Dari Kaca	32
BAB III PELAKSANAAN EKSPERIMENTAL DI LABORATORIUM	35
III.1. Proses Pembuatan Bubuk Kaca	35
III.2. Penelitian Bahan Dasar Beton	35
III.3. Desain Campuran Beton	38
III.4. Pengecoran dan Perawatan Beton	43
III.5. Pengujian Kuat Tekan Beton	44
BAB IV ANALISIS DAN EKSPERIMENTAL	46
IV.1. Slump dan Berat jenis Beton	46
IV.2. Kuat Tekan Uniaksial	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
V.1. Kesimpulan	59

V.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	



PENGGUNAAN KACA SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN BAHAN TAMBAHAN PADA BETON MUTU TINGGI

ABSTRAK

Penggunaan agregat halus kaca yang dibuat dari jenis kaca lembaran soda lime, mulai dikembangkan untuk membuat beton kinerja tinggi. Agregat halus kaca ini dibuat dalam bentuk bubuk dengan ukuran dan distribusi yang serupa agregat halus/ pasir alam. Penggunaannya diharapkan dapat memanfaatkan limbah hasil samping industri untuk komponen industri konstruksi dan untuk mengatasi kekurangan pasir alam yang tersedia.

Pengujian di laboratorium terhadap kuat tekan uniaksial menunjukkan bahwa penggunaan bubuk kaca dalam beton kinerja tinggi menghasilkan kekuatan beton gelas (kaca) yang masih dapat ditingkatkan. Beton gelas dengan rasio *water-cement (W/C)* yang relatif kecil menghasilkan kuat tekan yang mendekati beton pasir. Untuk W/C 0,25 menghasilkan kuat tekan beton gelas lebih dari 48 Mpa pada umur 28 hari.

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
II.4.1 Skema Klasifikasi Bahan Keramik	28
IV.1.1 Kurva Hubungan Slump dan W/C	48
IV.1.2 Kurva Hubungan Berat Isi dan W/C	48
IV.2.1 Kurva Kuat Tekan Beton Gelas	53
IV.2.2 Kurva Kuat Tekan Beton	53
IV.2.3 Kurva Kuat Tekan Mortar Gelas	54
IV.2.4 Kurva Kuat Tekan Mortar	54
IV.2.5 Kurva Kuat Tekan Dengan W/C 0,25	55
IV.2.6 Kurva Kuat Tekan Dengan W/C 0,30	55
IV.2.7 Kurva Kuat Tekan Dengan W/C 0,35	56
IV.2.8 Kurva Hubungan W/C vs Kuat Tekan	57
IV.2.9 Kurva Hubungan W/C vs Kuat Tekan	57
IV.2.10 Kurva Hubungan W/C & Kuat Tekan 3 Hari	58
IV.2.11 Kurva Hubungan W/C & Kuat Tekan 14 Hari	58
IV.2.12 Kurva Hubungan W/C & Kuat Tekan 28 Hari	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
II.1.1 Klasifikasi Bentuk Partikel Agregat	9
II.1.2 Kandungan Zat Kimia Air Yang Diijinkan	13
II.3.1 Hubungan Diameter Maksimum Agregat dengan Faktor Granular	18
II.3.2 Koreksi Kadar Air	19
II.3.3 Faktor Koreksi Untuk Harga K, Ks, Kp	20
II.3.4 Klasifikasi Plastisitas Beton Berdasarkan Slump	25
II.3.5 Koefisien Kekompakan Beton	26
II.4.1 Klasifikasi Kaca Berdasarkan Penggunaannya	30
II.4.2 Komposisi dari Kaca Rata	31
III.1.1 Komposisi Beton I	39
III.3.2 Komposisi Mortar	41
III.3.3 Komposisi Beton II	43
IV.1.1 Data Slump dan Berat Isi Beton Gelas / Kaca	46
IV.1.2 Data Slump dan Berat Isi Beton	46
IV.1.3 Data Berat Jenis Beton Keras	47
IV.2.1 Data Kuat Tekan Beton Gelas / Kaca	50

B A B I

P E N D A H U L U A N

L I L A T A R B E L A K A N G

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang giat melaksanakan pembangunan di segala bidang. Salah satu masalah yang timbul dalam melaksanakan pembangunan adalah masalah sampah atau limbah, yang apabila tidak di manfaatkan akan mengganggu keseimbangan lingkungan. Berbagai alternatif yang mungkin dilaksanakan dalam mengatasi hal tersebut diantaranya mendaur ulang, untuk dimanfaatkan menjadi bahan yang berguna lainnya.

Beton merupakan salah satu jenis material konstruksi yang banyak digunakan. Untuk meningkatkan kualitas beton yang diinginkan telah banyak di lakukan penelitian penggunaan bermacam-macam jenis agregat, agar didapat beton mutu tinggi yang mempunyai keunggulan antara lain kuat tekan yang tinggi. Ketahanan terhadap lingkungan yang agresif susut dan rangkak yang kecil serta ketegaran letak yang tinggi. Umumnya campuran utama beton terdiri dari agregat halus / pasir, agregat kasar / kerikil, semen dan air. Pasir dan air kerikil merupakan unsur terbanyak dalam campuran beton, berbentuk butiran yang terdapat di dalam yang semakin menipis bila di eksploitasi terus menerus sehingga perlu dicari alternatif bahan butiran buatan yang dapat menggantikan fungsinya dalam campuran beton, seperti kaca dan sisa-sisa batuan tambang

Penelitian penggunaan kaca sebagai pengganti agregat dalam campuran beton mulai banyak dilakukan seperti penggunaan kelereng (kaca) sebagai pengganti agregat kasar. Dari uraian diatas dianggap perlu untuk meneliti penggunaan kaca sebagai agregat halus buatan.

1.2. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Maksud dari penelitian ini agar dapat diketahui sampai sejauh mana bubuk kaca dapat di gunakan sebagai pengganti agregat halus / pasir.

Sedangkan tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh bubuk kaca yang dapat menghasilkan beton kinerja tinggi dengan kekuatan optimal yang menggunakan campuran beton mutu tinggi. Hasil percobaan tahap awal memberikan hubungan variasi air semen (*ratio water-cement*) dengan kuat tekan pada berbagai umur beton, dan hubungan variasi berat bubuk kaca dan agregat kasar dengan kuat tekan pada berbagai umur beton.

1.3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini adalah dengan cara studi literatur dan studi eksperimental.

Studi literatur ditujukan pada penguasaan terhadap data mengenai kaca, dan penelitian sejenis yang pernah dilakukan. Hal ini supaya lebih memfokuskan arah dari penelitian menjadi benar-benar terkait kepada tujuan yang ingin dicapai.

Studi eksperimental merupakan serangkaian pengujian di laboratorium terhadap unsur-unsur pembentuk beton dan pengangkutan beton segar atau pengujian beton keras.

1.4. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Lingkup pekerjaan penelitian secara garis besar meliputi :

- a. Pekerjaan Persiapan.
- b. Pekerjaan Laboratorium.
- c. Pekerjaan Analisis.

Penelitian ini terbatas pada :

- a. Beton dengan menggunakan bubuk kaca sebagai agregat halus dimana pembuatan benda uji terdiri dari dua macam campuran yaitu :
 1. Campuran beton dengan memakai tiga macam variasi air semen (*rasio water cement*) (0,25; 0,3; 0,35) sedangkan komposisi agregat kasar, bubuk kaca, semen dan bahan tambahan (*admixture*) adalah tetap.
 2. Campuran beton dengan memakai tiga macam variasi berat bubuk kaca dan agregat kasar, sedangkan berat semen dan bahan tambah tetap serta rasio air semen (*rasio water cement*) yang dipakai didapat dari hasil campuran (1) dengan kuat tekan optimal.
- b. Mortar dengan menggunakan bubuk kaca.
- c. Beton dan Mortar kontrol dengan menggunakan pasir.

d. Material yang digunakan :

- Semen portland type I merk tiga roda.
- Pasir sebagai agregat halus.
- Bubuk kaca dari sisa-sisa potongan kaca jendela bening sebagai agregat halus.
- Batu pacah banjaran sebagai agregat kasar.
- Air dari laboratorium.

e. Pengukuran slump dan berat jenis beton.

f. Pengujian kuat tekan yang dilakukan terhadap benda uji silinder \varnothing 10 cm dan tinggi 20 cm pada umur beton 3, 14, 28 hari.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Tulisan ini terdiri dari lima bab, dengan uraian masing-masing bab tersebut untuk memberikan gambaran tentang isi tulisan ini, yang disusun secara sistematis sebagai berikut :

Bab pertama, membahas mengenai latar belakang pemilihan topik penelitian ini, maksud dan tujuan penelitian yang ingin dicapai, metode yang digunakan dalam penelitian, pembatasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab dua, merupakan tinjauan pustaka yang memberi gambaran tentang bahan dasar untuk membentuk beton, teori dasar beton mutu tinggi, metode desain campuran beton, material kaca, penggunaan agregat buatan dari bahan limbah dan kaca dalam beton.

Bab ketiga, menguraikan pelaksanaan eksperimental di laboratorium yang mengarah kepada prosedur kerja, yaitu proses pembuatan bubuk kaca, penelitian bahan dasar beton, desain campuran beton, pengecoran dan perawatan beton, pengujian kuat tekan beton.

Bab keempat, tentang analisis data yang diperoleh dari eksperimental yang menyangkut slump dan berat jenis beton, kuat tekan uniaksial beton dan mortar, hasil dan evaluasi.

Bab kelima, berisi kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil penelitian yang telah diperoleh.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. BAHAN DASAR PEMBENTUK BETON

Beton merupakan suatu produk yang dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawai dari beberapa material pembentuknya. Bahan dasar pembentuk beton yang utama adalah semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air. Menurut SK – SNI – T 15 – 1990 – 03, beton ialah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan. Dengan demikian pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen sangat dibutuhkan dalam merencanakan campuran beton.

II.1.1. Semen

Semen merupakan bahan perekat dalam campuran beton dan bila dicampur air terjadi reaksi kimia dengan proses waktu dan panas menghasilkan sifat perkerasan pasta semen. Senyawa utama semen terdiri dari material seperti limestone atau kapur, dan material besi oksida, serta silica dan alumina yang berupa lempung. Proses pencampuran dilakukan di dalam tempat pembakaran dengan temperatur sekitar 1400 °C. Setelah didinginkan ditambah dengan sejumlah kecil material gips, semen ini yang disebut sebagai semen portland.

Selain itu penambahan gips yang terlalu banyak mengakibatkan terjadinya reaksi yang merugikan dengan semen. Sehingga penambahan gips dibatasi $\pm 5\%$ dari berat semen agar tidak terjadi pengembangan / ekspansi.

Macam-macam tipe semen yang diproduksi menurut ASTM yaitu semen portland biasa (tipe I), semen ini tidak dipengaruhi oleh sifat-sifat lingkungan yang mengandung bahan-bahan sulfat dan perbedaan temperatur yang ekstrim. Semen portland tipe II digunakan untuk pencegahan serangan sulfat dari lingkungan, seperti sistem drainase dengan sifat kadar konsentrasi sulfat tinggi dalam tanah. Semen tipe III, merupakan semen dengan waktu perkerasan yang cepat. Semen tipe IV, merupakan semen dengan panas hidrasi rendah. Sedang semen tipe V, merupakan semen penangkal sulfat.

Panas hidrasi tergantung dari komposisi semen dan besarnya jumlah panas hidrasi yang dihasilkan dari masing-masing bahan pembentuknya.

Waktu yang dibutuhkan untuk perubahan bentuk semen dari cair menjadi keras (setting) disebut waktu pengikatan. Pengikatan awal ditandai dengan kenaikan temperatur yang cepat, sedangkan pengikatan akhir sangat berhubungan dengan temperatur puncak.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengikatan semen antara lain :

- a. Kehalusan semen, semakin halus butiran semen akan semakin cepat waktu pengikatan.
- b. Jumlah air, pengikatan semen akan cepat bila jumlah air berkurang.

- c. Temperatur, waktu pengikatan akan semakin cepat bila temperatur makin tinggi.
- d. Penambahan bahan kimia tertentu.

II.1.2. Agregat

Beton umumnya mengandung 65 – 80 % agregat halus dan agregat kasar yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam adukan beton, maka dapat dikatakan bahwa kualitas agregat memegang peranan penting. Agregat tidak hanya membuat kekuatan dalam beton tetapi juga berpengaruh besar terhadap daya tahan dan kekompakan strukturalnya. Selain itu agregat membentuk beton yang mempunyai stabilitas volume yang lebih tinggi dan daya tahan yang lebih baik dari pada pasta semen saja.

Agregat alam terjadi dari proses pelapukan dan abrasi atau dengan cara mekanis (crushing) dari batuan asal (raw material). Dengan demikian sifat agregat banyak tergantung dari sifat batuan asal, seperti sifat kimia, komposisi mineral, klasifikasi petrographic, berat jenis, kekerasan, kekuatan, kestabilan, struktur pori, warna dan lain-lain.

Akibat proses pelapukan atau abrasi ada suatu sifat yang terdapat pada batuan asalnya, yaitu bentuk dan ukuran partikel, kehalusan permukaan (surface texture) dan penyerapan air.

Selain agregat yang terbentuk secara natural, terdapat pula agregat buatan yang merupakan hasil produksi pabrik dan agregat berasal dari limbah padat.

Klasifikasi agregat secara umum dapat ditinjau dari bentuk dan ukuran agregat. Bentuk agregat terdiri dari agregat alam yang berbentuk bulat dan agregat batu pecah yang berbentuk tajam dan runcing. Kebulatan bentuk agregat sebenarnya ditinjau dari kekuatan dan ketahanan terhadap abrasi dari batuan asal. Klaifikasi bentuk partikel agregat dapat dilihat pada tabel II.1.1.

Tabel II.1.1 Klasifikasi Bentuk Partikel Agregat

Klasifikasi	Deskripsi	Contoh
Bulat	aus akibat air, atau terbentuk akibat terkikis keseluruhannya	kerikil sungai, pasir pantai, pasir gurun.
Tak beraturan	tak beraturan alami, atau sebagian terkikis dan memiliki bentuk bulat.	kerikil lain ; batu tanah atau galian
Flaky	material yang tipis pada salah satu sisinya.	batu yang terlindung pada salah satu sisinya.
Angural	memiliki bentuk sisi yang baik pada potongan sisi planar yang kasar.	batuan tebing yang dipecah, batuan terak.
Elongated	material yang menyudut salah satu sisinya lebih panjang dari yang lain.	—
Flaky dan Elongated	material yang memiliki panjang lebih besar dari lebarnya dan lebar ini lebih besar dari tebalnya.	—

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

Klasifikasi agregat yang digunakan di United State adalah sebagai berikut :

- Bulat penuh (*Well rounded*) : permukaan agregat tidak ada yang orisinil seperti pada batuan awal.
- Bulat (*Rounded*) : permukaan umumnya berbentuk bulat
- Setengah bulat (*Subrounded*) : keausan agregat yang sangat tinggi dan mengurangi luas permukaan.
- Setengah siku-siku (*Subangular*) : mengandung sedikit keausan agregat bila permukaan agregat tidak bersinggungan.
- Siku-siku (*Angular*) : agregat yang tampak lebih sedikit tingkat keausannya.

Partikel agregat yang mempunyai rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi menurunkan kemudahan dikerjakannya (*workability*) campuran. Partikel yang panjang dan pipih termasuk dalam kelompok ini. Partikel yang pipih juga mempunyai pengaruh yang buruk terhadap daya tahan beton karena partikel-partikel ini cenderung untuk terorientasi pada satu bidang dan dibagian bawahnya berbentuk air dan gelembung udara.

Bentuk dan tekstur agregat halus mempunyai pengaruh yang berarti terhadap banyaknya air yang diperlukan pada campuran yang dibuat dengan menggunakan agregat tersebut.

Permukaan agregat yang lebih kasar menghasilkan ikatan yang lebih baik antara agregat dan pasta. Ikatan yang lebih baik juga diperoleh dari pengujian tak langsung antara lain dari performansi agregat dalam beton. Agregat dengan kekuatan moderat atau rendah dan yang mempunyai modulus elastisitas rendah, baik untuk mempertahankan integritas beton karena perubahan volume yang terjadi

menimbulkan tegangan yang lebih rendah pada pasta semen jika agregat lebih kompresibel. Kekuatan agregat yang disyaratkan adalah jauh lebih tinggi dari pada daerah kekuatan beton normal karena tegangan aktual pada titik-titik kontak partikel di dalam beton jauh lebih tinggi dari pada tegangan tekan nominal yang diberikan.

Agregat juga harus mempunyai daya tahan terhadap keruntuhan akibat beban impact (toughness). Daya tahan agregat terhadap keausan (hardness) penting bagi beton yang digunakan untuk jalan dan permukaan lantai yang harus memikul lalu lintas berat.

Porositas, permeabilitas dan absorpsi agregat mempengaruhi daya lekat antara agregat dan pasta semen, daya tahan beton terhadap pembekuan dan pencairan, daya tahan terhadap abrasi dan berat jenis (*specific gravity*).

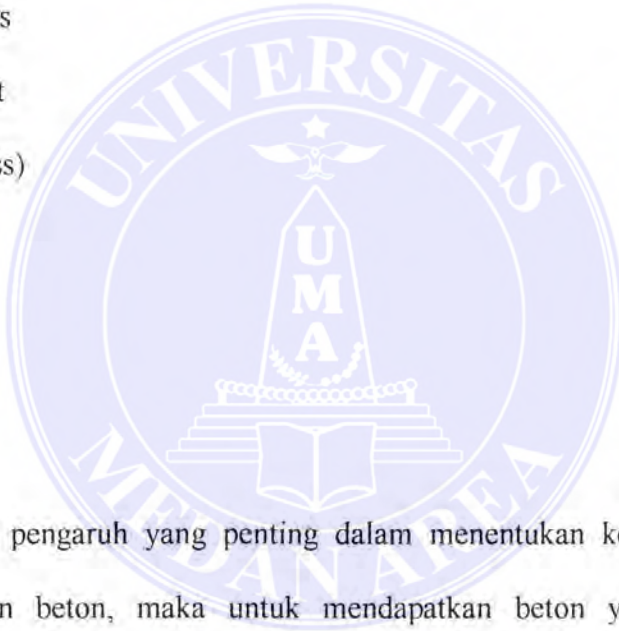
Karakteristik agregat halus yang harus dianalisa meliputi :

- Berat Jenis (Specific gravity)
- Penyerapan (Absorpsi)
- Kadar Udara (Total moisture content)
- Penentuan berat isi
- Kadar lumpur
- Penentuan kadar bahan organik
- Voids dalam agregat
- Kekekalan (Soundness)
- Analisa ayakan
- Kurva gradasi

- Modulus kehalusan

Karakteristik agregat kasar yang harus dianalisa meliputi :

- Berat Jenis (Specific gravity)
- Penyerapan (Absorpsi)
- Kadar Udara (Total moisture content)
- Penentuan berat isi
- Abrasi / Los Angeles
- Voids dalam agregat
- Kekekalan (Soudness)
- Analisa ayakan
- Kurva gradasi



II.1.3 Air

Air mempunyai pengaruh yang penting dalam menentukan kekuatan dan kemudahan pelaksanaan beton, maka untuk mendapatkan beton yang mudah dilaksanakan tetapi dengan kekuatan yang tetap, harus dipertahankan nilai perbandingan antara jumlah air dan semennya. Selain dari jumlah air, kualitas air harus diperhatikan, karena kotoran yang ada di dalamnya akan mengganggu pengikatan semen dalam campuran beton dan dapat menyebabkan pengurangan kekuatan atau menyebabkan gangguan pada permukaannya.

Air yang dipergunakan dalam pembuatan beton harus tidak disangsikan lagi, bebas dari bahan-bahan yang merugikan seperti lumpur, tanah liat, bahan organik

dan asam organik, alkali dan garam-garam lain. Air yang dapat diminum dapat dipergunakan untuk air campuran beton. Umumnya bila air jernih, tidak terasa asin atau payau, dapat digunakan dengan aman. Dalam beberapa spesifikasi, kualitas air yang dapat digunakan sebagai air campuran memiliki batasan maksimum kandungan zat kimia yang masih diperbolehkan (dalam ppm = part per million) seperti tercantum pada tabel II.1.2

Tabel II.1.2 Kandungan zat kimia air yang diijinkan

Kandungan unsur kimia	Konsentrasi Maksimum
Cloride, Cl	
- Beton prategang	500 ppm
- Beton bertulang	1000 ppm
Sulphate, SO ₄	1000 ppm
Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	600 ppm
Total solid	50000 ppm

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

Selain untuk campuran / adukan beton, air juga diperlukan untuk perawatan beton. Biasanya air yang dapat digunakan untuk campuran beton, sesuai pula untuk perawatan beton. Sekalipun demikian sbesi dan bahan organik dapat menimbulkan noda-noda pada beton.

II.1.4 Admixture

Bahan tambahan (admixture) adalah suatu bahan berupa serbuk atau cairan, yang dibubuhkan ke dalam adukan beton dalam jumlah tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan dari beton.

II.2. TEORI DASAR BETON MUTU TINGGI

Campuran beton yang baik adalah campuran yang kompak terdiri dari kerikil yang besar mendominasi keseluruhan volume, kerikil yang kecil mengisi sela-sela diantara kerikil besar, sela-sela kerikil kecil diisi oleh pasir dan ruang kosong diantara pasir diisi oleh campuran semen dan air.

Kekuatan beton adalah merupakan hasil gabungan tiga kekuatan yaitu :

1. Kekuatan dari mortar (semen + agregat halus + air)
2. Kekuatan ikatan antara mortar dan agregat kasar.
3. Kekuatan dari partikel agregat kasar.

Dengan demikian kekuatan beton dapat ditingkatkan minimal ada tiga cara yang dilakukan yaitu :

1. Meningkatkan kekuatan pasta semen.

Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengurangi kadar pori pasta, mengurangi rasio air-semen (*water-cement ratio*) dan atau menambah *water cement reducer*, juga dapat dilakukan menambah mineral tambahan.

2. Meningkatkan kekuatan lekatan antara pasta dengan agregat. Bagian yang paling lemah di dalam beton adalah daerah antara permukaan (*interface zone*) antara

pasta dengan agregat. Bagian lemah ini dapat diperkuat dengan cara memilih jenis dan bentuk agregat yang sesuai, dan atau dengan menambah mineral admixture yang dapat memperkuat daerah lemah antara pasta dengan agregat.

3. Pemilihan agregat yang berkwalitas baik.

Pada beton normal, kekuatannya lebih ditentukan oleh kekuatan mortar serta ikatan antara mortar agregat kasarnya. Untuk mendapatkan beton mutu tinggi maka ketiga cara tersebut dilakukan secara bersamaan. Dari hal tersebut terlihat antara lain bahwa mutu dari beton merupakan fungsi dari rasio air semen, semakin rendah rasio air semen akan menghasilkan mutu beton yang semakin tinggi. Beton mutu tinggi dapat dicapai dengan menggunakan bahan *silica fume* atau pengurangan kadar air dengan perbedaan yang besar (*high range water reducing*) bersama bahan dasar beton lainnya, penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* ke dalam campuran beton dengan abu terbang (*fly ash*).

Sifat-sifat beton segar dalam hal ini menyangkut kepentingan pengangkutan, saat pengecoran dan pencetakan. Beton segar yang baik terlihat dari mudah tidaknya adukan tersebut dikerjakan, tanpa mengalami pemisahan antara butir-butir dengan air. Faktor utama yang dapat mempengaruhi kemudahan pengerjaan beton yaitu rasio air semen berhubungan erat dengan kekuatan beton yang direncanakan.

Di dalam campuran beton, air mempunyai dua fungsi yaitu :

1. Untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan pengerasan.

2. Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan pencetakan.

Beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan jumlah air yang minimum konsisten dengan derajat workabilitas yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal. Meskipun bahan butiran sudah kompak tetapi bila airnya terlalu berlebih, beton akan menjadi tidak kompak dan air kelebihan dari keperluan hidrasi akan membentuk pori-pori pada beton.

Hal ini menunjukkan bahwa beton yang dipadatkan sempurna dengan agregat yang baik dan pada kadar semen tertentu, kekuatannya tergantung rasio air semen.

Sifat-sifat beton keras adalah merupakan fungsi dari waktu dan kelembaban yang mempengaruhi speimen tersebut. Hal ini menyebabkan sifat-sifat beton keras selalu dikaitkan dengan umur beton. Secara kualitatif sifat-sifat beton keras ini umumnya dihubungkan dengan kuat tekannya dan keawetannya karena beton sangat dominan dalam menahan tekan walaupun dalam beberapa hal sifat-sifat beton itu ditinjau dari kebutuhan struktur yang direncanakan. Dalam hal keawetan beton, seperti faktor-faktor untuk mencegah pengaruh cuaca, reaksi kimia atau keausan.

Dalam tata cara perhitungan Struktur beton Indonesia untuk Gedung 1991, ditentukan bahwa beton yang digunakan dalam perhitungan struktur mempunyai kekuatan maksimum sampai 55 Mpa.

11.3. METODE DESAIN CAMPURAN BETON

Ada beberapa metode yang dapat dijadikan dasar dalam mendesain campuran beton dan digunakan sebagai acuan untuk menentukan komposisi beton mutu tinggi

Beberapa metode desain beton diantaranya adalah metode Dreux (Peranci), metode ACI (Amerika), metode DOE (Inggris), metode SK – SNI (Indonesia).

Pada penelitian ini perencanaan campuran beton dicoba didekati dengan menggunakan Metode Dreux. Apabila kekuatan material (semen dan bahan butiran) dianggap konstan, maka faktor yang mempengaruhi kekuatan beton itu adalah kekompakan bahan butiran dan jumlah air beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, Prof. Dreux menyajikan suatu formula untuk memperkirakan kekuatan beton yang direncanakan adalah :

$$\sigma_{28} = G \cdot \sigma_C \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \dots\dots\dots (\text{Jurnal Teknik Sipil Hal. 3})$$

dimana :

σ_{28} = kekuatan beton rata-rata dari benda uji silinder \varnothing 10 cm – 20 cm pada umur 28 hari.

G = faktor kekompakan butiran / faktor granular, yaitu suatu angka menunjukkan besarnya volume yang diisi oleh butiran kasar. Angka ini berkisar antara 0,35 – 0,65 yang tergantung pada kualitas dan diameter maksimum dari butiran.

σ_C = kekuatan semen berdasarkan data dari pabrik semen yang dipakai.

C = berat semen per meter kubik beton.

E = berat air per meter kubik beton.

Besarnya faktor granular (G) sangat dipengaruhi oleh kualitas butiran dan besarnya diameter maksimum butiran dan besarnya diameter maksimum butiran agregat kasar yang digunakan pada perancangan campuran beton. Gradasi dan ukuran agregat maksimum berhubungan dengan rasio air-semen, dimana jumlah pasta semen harus dapat menutupi seluruh partikel sehingga bila luas permukaan partikel kecil, maka akan lebih sedikit pasta semen yang digunakan, dengan sendirinya jumlah air yang digunakan juga akan sedikit. Besarnya nilai G dapat dilihat pada tabel II.3.1.

Tabel II.3.1. Hubungan diameter maksimum agregat dengan faktor granular

Kwalitas butiran	Diameter Agregat Kasar (mm)		
	$D \leq 16$	25 – 40	$D \geq 63$
Baik Sekali	0,55	0,45	0,65
Normal	0,45	0,50	0,55
Bisa Dipakai	0,35	0,40	0,45

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

Untuk menjamin bahwa suatu campuran beton dapat dikerjakan (workable) dan dalam perancangan campuran beton harus dipenuhi syarat kekelakaannya, yang ditunjukkan oleh konsistensi yang harus dipenuhi terhadap persyaratan yang ditetapkan serta jumlah semn yang tidak boleh kurang dari jumlah minimum, maka formula Dreux berlaku untuk keadaan :

- Rasio antara jumlah semen terhadap jumlah air (C/E) berkisar antara 1,5 – 2,5.
- Jumlah semen minimum 300 kg/m^3 beton.

Untuk menentukan jumlah semen yang diperlukan dapat ditetapkan berdasarkan besarnya slump yang diinginkan dimana adukan masih dapat dikerjakan. Beberapa kriteria dapat ditempuh untuk membuat adukan yang mempunyai derajat kelecakan tinggi atau dikerjakan (workable), dengan tidak mengurangi kekuatan rencana dilakukan sebagai berikut :

- Menambah air, tetapi harus juga menambah semen agar rasio jumlah semen terhadap air (C/E_1) tetap, atau
- Tidak menambah air, tetapi dengan menambah bahan tambah.

Dengan ditetapkannya jumlah semen yang digunakan dari grafik hubungan antara jumlah semen dengan slump terhadap air, dapat dilihat pada lampiran 2.3.1 , kwantitas air yang diperlukan dapat ditentukan. Banyaknya air yang diperlukan berdasarkan anggapan bahwa agregat yang digunakan dalam keadaan / kondisi kering udara. Bila agregat yang akan digunakan tidak dalam kering udara maka terlebih dahulu dilakukan koreksi jumlah air dengan memperhitungkan faktor kelembaban dan absorpsi. Koreksi kadar air dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai hubungan antara diameter maksimum agregat kasar yang digunakan dalam prosentase koreksi jumlah air seperti pada tabel 2.3.2.

Tabel II.3.2. Koreksi Kadar Air

D (mm)	5	10	16	25	40	63	100
E_1 (%)	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

Ket : E_1 = koreksi kadar air.

Grafik yang menyatakan hubungan antara jumlah semen terhadap air dengan besarnya angka slump yang menjadi dasar bagi penentuan jumlah semen per kubikasi beton berlaku untuk agregat alam (pasir dan kerikil sungai) sehingga jika agregat kasar yang menjadi salah satu material penyusun beton yang dipakai merupakan batu pecah, maka harga slump rencana dikurangi 2 cm.

Faktor besaran koreksi K yang digunakan tergantung pada kwantitas semen per kubikasi beton, jenis agregat yang dipakai dan jenis pemadatan yang dilakukan. Sedangkan untuk angka koreksi K_s yang diperlukan apabila nilai dari modulus kehalusan agregat halus $M_{fs} \neq 2,5$. Besarnya angka koreksi tersebut dinyatakan sebagai berikut :

$$K_s = 6.M_{fs} - 15 \dots\dots\dots (II.3.2)$$

Dalam menentukan harga koreksi K untuk hubungan berbagai jenis pemadatan dan disis semen yang dipakai, serta jenis agregat yang digunakan baik agregat alam maupun batu pecah dan angka koreksi K_p bila menggunakan pompa. Faktor-faktor koreksinya dapat dilihat pada II.3.3.

Tabel II.3.3 Faktor koreksi untuk harga K, K_s , K_p

Pemadatan Agregat	Jenis	Lemah		Normal		Kuat	
		alam	Pecah	Alam	pecah	alam	Pecah
Dosis Semen (kg/m ³)	400 + F	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

$K = + 5 + 10$ untuk beton yang dipompa

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

1. Menentukan Kurva Patokan

Untuk dapat menentukan kurva patokan yang menjadi dasar penentuan besarnya prosentase dari agregat yang dibutuhkan, diperlukan data hasil analisa saringan dari masing-masing agregat yang akan digunakan. Secara umum gambaran tentang distribusi agregat yang digunakan berupa garis cembung (lihat lampiran II.3.2), di lain pihak campuran antara agregat halus dan agregat kasar yang merupakan komponen penyusun beton mempunyai kurva yang berbentuk cekung. Untuk keperluan ini terlebih dahulu harus dicari kurva patokan sedapat mungkin mendekati (berimpit) dengan granulometri gabungan antara kedua agregat tersebut. Kurva patokan ini bilinear yang menghubungkan titik 0 % pada diameter 0,1 mm dengan menggunakan saringan dan titik 100 % pada diameter maksimum (D) dengan titik patah (P).

a. Menentukan Absis X :

Titik X merupakan absis yang dinyatakan dengan besarnya diameter, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- ◆ Jika diameter maksimum agregat yang digunakan pada perencanaan campuran beton adalah 25 mm, maka besarnya nilai absis (X) diambil setengah dari diameter maksimum agregatnya, atau

$$X = D/2$$

- ♦ Jika diameter maksimum agregat (D) lebih dari 25 mm, maka besarnya nilai absis (X) diambil sebagai rata-rata antara diameter 5 mm dan diameter maksimum agregat (D) yang digunakan, atau

$$X = (D - 5) / 2$$

b. Menentukan Ordinat Y

Titik Y merupakan ordinat dalam prosentase dinyatakan sebagai :

$$Y = S_o - \sqrt{D} + K + K_s$$

Dimana :

D = diameter agregat maksimum yang digunakan

K = besaran koreksi yang tergantung pada kuantitas semen per kubikasi beton, jenis agregat dan cara pemadatannya.

K_s = angka koreksi yang diperlukan bila nilai modulus kehalusan agregat Halus $M_f \neq 2,5$

2. Menentukan Perbandingan Antara Agregat Halus dan Agregat Kasar

Untuk menentukan prosentase agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton yang agregat kasarnya tersedia secara alami (tidak diolah secara mekanis), maka besarnya prosentase untuk masing-masing agregat dapat ditentukan secara langsung dengan cara menarik garis lurus yang menghubungkan titik 95 % lolos kumulatif pada kurva gradasi agregat kasar. Besarnya nilai ordinat titik potong antara garis lurus tersebut dengan kurva

patoakan (kurva reference) menunjukkan besarnya prosentase agregat halus yang diperlukan dalam komposisi campuran beton. Sedangkan besarnya prosentase agregat kasar dapat ditentukan dengan mengurangkan / selisih antara 100 % dengan prosentase agregat halus yang telah ditetapkan.

Untuk agregat halus alami dan agregat kasar yang diolah secara mekanis, penentuan prosentase agregat tidak dapat dilakukan secara langsung dengan cara yang disebutkan di atas tetapi terlebih dahulu dipisahkan besarnya fraksi agregat kasar antara diameter 5 mm sampai absis titik patah P dan antara absis titik patah P dengan diameter maksimum agregat yang digunakan. Dengan demikian susunan agregat gabungan akan lebih mendekati kurva patokan yang pada akhirnya akan meningkatkan kekompakan beton yang dihasilkan.

Untuk menentukan prosentase agregat dengan menggunakan agregat kasar yang diolah akan terdapat 3 (tiga) fraksi agregat kasar yang dapat dikelompokkan dalam :

- ❖ Fraksi halus, yaitu fraksi agregat yang memiliki diameter butiran 0,075 mm hingga 5 mm. Prosentase fraksi ini antara 0 hingga ordinat titik potong antara garis lurus yang ditarik pada 95 % lolos kumulatif gradasi agregat kasar dengan kurva patokan.
- ❖ Fraksi tengah (kerikil / batu pecah), yaitu fraksi agregat yang berdiameter 5 mm sampai titik patah P. Besarnya prosentase fraksi ini antara ordinat titik potong antara garis penghubung 95 % lolos kumulatif gradasi agregat halus

dan 5 % lolos kumulatif gradasi agregat kasar dengan kurva patokan sampai ordinat titik patah P dari kurva patokan yang sebelumnya telah ditentukan.

- ❖ Fraksi kasar, yaitu fraksi agregat yang berdiameter antara absis titik patah P dan diameter maksimum (D) dengan besarnya prosentase antara ordinat titik patah P dan 100 %

Bilamana agregat kasar yang diolah merupakan agregat yang dipisahkan antara diameter 5 mm sampai absis titik patah P dan antara absis titik patah P dengan diameter maksimum (D), maka campuran beton memanfaatkan gabungan agregat halus alam dan batu pecah, pemisahan fraksi batu pecah dengan diameter maksimum (D) memungkinkan untuk lebih mudah dilakukan dari pada menggunakan agregat kasar alam.

3. Menentukan Proporsi Agregat Halus dan Agregat Kasar Untuk Setiap Kubikasi Beton

Dengan menggunakan kurva hubungan antara slump dan rasio jumlah semen terhadap air yang diperoleh dari rumusan Dreux berdasarkan informasi kekuatan semen dan kuat tekan beton yang direncanakan, maka sudah dapat diketahui jumlah semen dan air untuk campuran per m^3 beton.

Untuk menentukan komposisi agregat sangat dipengaruhi oleh kekompakan butiran yang dalam metode ini dinyatakan dengan τ yang menunjukkan bagian dari volume absolut beton yang diisi oleh material padat (semen, agregat halus dan agregat kasar). Jadi koefisien kekompakan berarti besarnya jumlah volume

absolut dari semen ditambah agregat sama dengan $\tau \text{ m}^3$ untuk setiap satu m^3 beton (volume absolut) atau 1000 liter volume absolut beton.

Untuk dapat menghitung besarnya bagian dari volume absolut beton yang diisi oleh agregat dapat dilihat besarnya koefisien kekompakan dari tabel hubungan antara plastisitas beton, cara pemadatan yang digunakan serta diameter maksimum agregat kasarnya. Klasifikasi plastisitas beton yang ditunjukkan oleh besaran slump serta pemadatannya guna menentukan koefisien kekompakan dapat dilihat pada tabel II.3.4.

Tabel II.3.4. Klasifikasi plastisitas beton berdasarkan Slump

Plastisitas Beton	Slump (mm)	Pemadatan
Sangat Kental	0 – 20	Penggetaran sangat kuat
Kental	30 – 50	Penggetaran yang baik
Plastis	60 – 90	Penggetaran normal
Lembek	100 – 130	Tusukan
Encer	≥ 140	Tusukan lemah

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

Dengan telah diketahui plastisitas beton, cara pemadatan dan diameter maksimum agregat, maka penentuan koefisien kekompakan dapat dilakukan dengan mengacu pada tabel II.3.5.

Dari tabel II.3.5 tampak bahwa besarnya koefisien kekompakan untuk menentukan proporsi agregat dalam beton sangat tergantung pada diameter

maksimum agregat yang digunakan, konsistensi adukan dan cara pemadatan yang dilakukan.

Tabel II.3.5 Koefisien Kekompakan beton

Kekenta – Lan beton	Cara Pemadatan	Koefisien Kekompakan (τ)						
		D = 5	D =10	D =16	D =25	D =40	D =63	D=100
Lembek	Tusukan	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Pem. lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Pem.normal	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastis	Tusukan	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Pem.lemah	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Pem.normal	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Pem. kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Kental	Pem.lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Pem.normal	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Pem. kuat	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

Salah satu hal yang juga harus diperhatikan adalah bahwa tabel untuk menentukan besarnya koefisien kekompakan tersebut hanya berlaku untuk agregat alam dengan menggunakan jumlah semen 350 kg/m³ beton. Oleh karena itu, jika perencanaan campuran tidak dipenuhi syarat-syarat tersebut di atas,

maka dalam hal ini koefisien kekompakan (τ) perlu dikoreksi terhadap campuran berikut :

- ❖ K_1 Untuk campuran yang menggunakan agregat halus (pasir) alam dan batu pecah, besarnya koefisien kekompakan direduksi sebesar 0,01.
- ❖ Untuk campuran yang kedua agregatnya dipecah direduksi sebesar 0,03.
- ❖ K_2 Untuk campuran beton yang penggunaan semennya tidak sama dengan 350 kg/m^3 beton, harus dikoreksi sebesar $\frac{(C - 350)}{5000}$, dimana C merupakan jumlah semen yang dipakai setiap kubikasi beton.
- ❖ Untuk campuran beton dengan agregat ringan perlu direduksi sebesar 0,03.

Dengan demikian untuk setiap 1000 liter volume absolut beton terdapat 1000 liter volume absolut (semen + agregat halus + agregat kasar). Sementara itu di dalam campuran beton terkandung C (kg) semen yang mempunyai volume absolut sebesar berat semen yang diperlukan dalam campuran dibagi dengan berat jenis semen, sehingga volume absolut agregat adalah 1000τ dikurangi dengan besarnya volume absolut semen. Dengan telah diperolehnya prosentase masing-masing agregat dan propori untuk setiap kubikasi beton melalui kurva granulometri agregat, maka berat agregat halus dan kasar dapat diketahui.

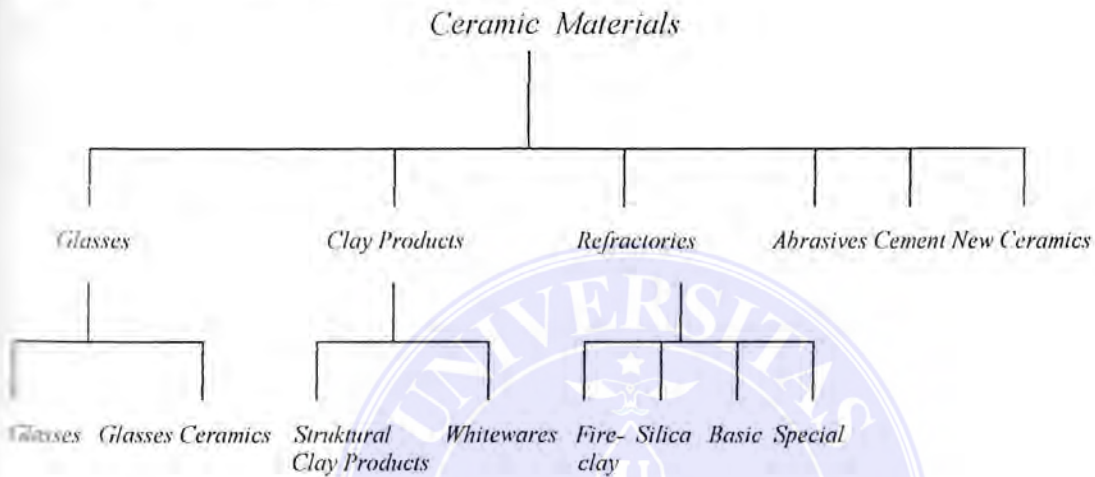
II.4. Material Kaca

II.4.1 Keramik

Keramik adalah bahan padat anorganik yang bukan logam. Barang yang terbuat dari keramik seperti keramik cina, porselen, kaca, semen, refraktori (bahan

bahan api). Klasifikasi bahan keramik untuk dasar penggunaan dapat dilihat pada skema II.4.1.

Skema II.4.1. Klasifikasi bahan keramik



Sumber : "Material Science and Engineer", hal. 302, Callister Jr.

Pada umumnya keramik memiliki sifat-sifat yang baik yaitu : keras, kuat dan stabil pada temperatur tinggi, tetapi keramik bersifat getas dan mudah patah seperti halnya pada porselen, keramik cina ataupun kaca. Faktor utama yang mempengaruhi struktur keramik dan juga kekuatannya ialah kehalusan permukaan, volume dan bentuk pori, ukuran dan bentuk butir, jenis dan bentuk fasa batas butir dan cacat yang disebabkan oleh tegangan dalam seperti halnya tegangan termal.

Keramik memiliki ketahanan termal dan kestabilan kimia, dan mempunyai kemungkinan penggunaan pada temperatur tinggi sebagai bahan teknik baru.

II.4.2 Kaca

Kaca (gelas) adalah zat padat amorf terbentuk sewaktu transformasi dari cair menjadi kristal. Akhir-akhir ini produksi kaca makin berkembang baik jenis maupun penggunaan diberbagai bidang (lihat tabel II.4.1). Dengan demikian kaca dapat diklasifikasikan menurut komposisi kimia, gelas kapur soda, gelas borosilikat, gelas belegenida, gelas khusus dan penggunaannya.

Dalam penelitian ini digunakan potongan kaca jendela transparan / bening yang merupakan jenis kaca rata / lembaran. Kaca lembaran termasuk gelas kapur soda yang komponen utamanya adalah SiO_2 , Na_2O , dan CaO , dan sebagai subkomponen adalah MgO , SO_3 . Komposisi kaca lembaran agak berbeda-beda tergantung cara produksinya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam viskositas yang diperlukan untuk berbagai proses pencetakan. Komposisi kimia kaca lembaran dapat dilihat pada tabel II.4.2.

Kaca mempunyai tiga sifat yang utama yaitu sifat termal, sifat optik dan sifat mekanik. Untuk memberikan gambaran tentang sifat-sifat beberapa kaca silika dapat dilihat pada tabel II.4.3. Sifat termal kaca yang penting adalah koefisien muai panjang bahan kaca dan viskositasnya. Sifat optik berhubungan dengan gelombang cahaya yang dapat tembus dan diserap kaca, hal ini akan memberikan warna tertentu pada kaca yang terlihat mata. Sedangkan sifat mekanik kaca yang khas adalah getas pada temperatur kamar.

Tabel II.4.1. Klasifikasi kaca berdasarkan penggunaannya

Macam	Nama	Penggunaan
Gelas rata :		
- Gelas rata umum.	Gelas rata bias, gelas rata berukir, gelas lebar	Kaca jendela, Cermin
- Gelas rata khusus.	Gelas kawat, gelas penyerap panas	
- Gelas rata berbentuk	Gelas beralur, gelas kerut berkawat	
Gelas Wadah :	Botol bermulut lebar, botol bermulut sempit	Berbagai wadah
Gelas peralatan makan	Gelas, gelas bergagang, piring, mangkuk	
Gelas optik :	Gelas mahkota (crown), gelas batu api (flint), gelas barium, gelas lantan, gelas fosfat, gelas yang mengandung flour	Berbagai instrumen Optik
Gelas Fisikokimia :		
-Gelas umum	Gelas kuarsa, gelas borosilikat, gelas silikat tinggi, gelas ampul, gelas botol obat	Untuk penggunaan Fisiko kimia dan kedokteran
-Gelas kedokteran untuk termometer.		
Gelas listrik :		
-Gelas penerangan	Gelas penerangan, gelas lampu fluoresensi, gelas lampu busur merkuri, lampu uap natrium.	Peralatan listrik
-Gelas tabung elektronik	Gelas untuk tabung sinar katoda, tabung pemancar, tabung sinar-X dan tabung khusus.	
-Gelas alat listrik berat.	Gelas mikaleks, gelas isolator gelas	
Gelas pengkapsul :		Berbagai pengkapsulan
Serat Gelas :	Gelas monofilamen, gelas filamen panjang, gelas untuk komunikasi foto	Isolator, komunikasi foto

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 8/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)8/1/24

Tabel II.4.2 Komposisi dari kaca rata

Jenis	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃
Produk A	71,82	1,40	0,07	3,31	8,90	14,27	0,31
Produk B	71,76	0,80	0,10	2,41	11,55	12,65	0,47
Kaca Lembaran	71 - 73	0,5 - 1,5	-	1,5 - 3,5	8 - 10	14 - 16	-
Kaca Lembaran Dirol	70,5-73	0,5 - 1,5	-	0 - 1	13-14	12 - 14	-

Tabel II.4.3 Sifat-sifat dari beberapa kaca Silika

	Silica glass	Sodalime	Borosilicate	Alumino silicate	Lead glass
Density (kg/m ³)	2200	2500	2230	2680	3000
Thermal conductivity (W/m.K)	1,38	1,00	1,05	1,03	0,75
Thermal expansion coefficient (1/10 ⁶ K)	0,6	8,5	3,3	5,2	9,4
Lower annealing temperature (°C)	980	520	470	590	390
Young's modulus E (Gpa)	73	74	64	83	58
Poisson's ratio	0,16	0,22	0,20	0,24	0,21

Sumber : "Strenght and Faecture of Glass and Ceramics", hal. 18, 1992, J. Mencik.

II.5. PENGGUNAAN AGREGAT BUATAN DALAM BETON

II.5.1 Agregat Buatan dari Bahan Limbah

Kemungkinan penggunaan limbah padat sebagai agregat akan lebih mendapat perhatian dan merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi masalah limbah. Penggunaan limbah padat merupakan suatu konsep yang telah berkembang seperti limbah industri sebagai bahan dasar beberapa bahan tambah (*admixture*) beton, abu terbang yang digunakan sebagai bahan pozolan dalam beton, slag tanur tinggi digunakan sebagai agregat maupun sebagai bahan yang bersifat semen, sisa-sisa irisan baja berupa serat-serat baja untuk tulangan beton. Penggunaan secara luas limbah padat sebagai agregat dapat dilakukan apabila tersedia potensi yang besar dari limbah padat tersebut.

Banyak bahan yang tergolong limbah padat, seperti dari sampah kota dan rumah tangga, atau dari reruntuhan bangunan berupa batu bata dan beton, hasil samping industri berupa slag dan abu terbang atau bahan yang tidak terpakai berupa sisa-sisa batuan tambang.

II.5.2 Agregat Halus Buatan dari Kaca

Kaca dapat dibuat sebagai agregat kasar atau agregat halus, tetapi harus diperhatikan bahwa untuk membuat ukuran agregat kasar diperlukan kaca yang ketebalannya lebih besar dari 5 mm sampai dengan 50 mm dan hal ini agak sulit mendapatkannya di pasaran kecuali diproduksi secara khusus seperti kelereng kaca. Pada penelitian ini lebih difokuskan pada kaca yang dibuat dalam ukuran agregat

halus, karena banyak produksi yang ketebalannya ± 5 mm dan dipergunakan secara umum, seperti kaca jendela, gelas wadah.

Prinsip pembuatan ukuran kaca ke dalam ukuran agregat halus dengan cara memecahnya sehingga didapat ukuran bubuk kaca yang ukuran butirnya maksimum 5 mm. Dalam hal ini bubuk kaca diperlakukan sebagai agregat halus / pasir, maka karakteristik bubuk kaca yang dianalisa meliputi :

- Berat jenis (*Spesific gravity*)
- Penyerapan (*Absorpsi*)
- Kadar udara (*Total moisture content*)
- Penentuan berat isi
- Penentuan kadar bahan halus / debu
- Analisa ayakan
- Modulus kehalusan
- Kadar lumpur

Pemecahan bubuk kaca cenderung mengandung partikel yang berbentuk rata memanjang (*flat elongated*) yang menyebabkan kandungan semen yang menyelimutnya lebih banyak dari pada pasir. Selain itu tekstur / kekasaran permukaan tergantung kepada kekerasan, ukuran butir, dan karakteristik pori bahan asal (berbutir halus umumnya mempunyai permukaan pecahan yang licin) dan juga tergantung derajat kelicinan atau kekasaran akibat gaya-gaya yang bekerja pada permukaan partikel. Tekstur yang lebih kasar menghasilkan gaya adhesif yang lebih besar antara partikel dengan matrik semen. Nampaknya bentuk dan tekstur permukaan sangat mempengaruhi kekuatan beton terutama sekali pada beton berkekuatan tinggi.

BAB III

PELAKSANAAN EKSPERIMENTAL DI LABORATORIUM

III.1. PROSES PEMBENTUKAN BUBUK KACA

Pada dasarnya pembuatan bubuk kaca / *crushed glass* sebagai pengganti pasir dapat dilakukan dengan memecah / menumbuk potongan kaca jendela bening menjadi kecil-kecil sehingga didapat ukuran butiran yang diinginkan dan dengan menyaring bubuk kaca tersebut agar didapat gradasinya sesuai dengan standar gradasi agregat halus.

III.2. PENELITIAN BAHAN DASAR BETON

Hal-hal yang menyangkut penelitian bahan dasar beton meliputi : semen, agregat kasar, agregat halus, pasir dan bubuk kaca, dan bahan tambahan.

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen tiga roda tipe I dengan komposisi kimia (lihat tabel III.2.1)

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah yang hasil pengujiannya sebagai berikut:

- Gradasinya diatur sesuai Standar ASTM C 33 – 92a dan ukuran diameter maksimum 20 mm.

- Berat jenis (*Spesific Gravity*) :
 - Kondisi apparent = 2,795 kg/l
 - Kondisi kering = 2,614 kg/l
 - Kondisi ssd = 2,678 kg/l
- Penyerapan (*Absorpsi air*) = 2,48 %
- Berat Volume :
 - Kondisi padat = 1,541 kg/l
 - Kondisi gembur = 1,453 kg/l
- Kadar air = 4,1125 %

3. Pasir

Pasir yang hasil pengujian (lihat lampiran III.2.2) sebagai berikut :

- Analisa saringan masuk daerah spesifikasi ASTM C 33 – 92a.
- Modulus kehalusan = 2,706
- Berat jenis (*Spesific Gravity*) :
 - Kondisi apparent = 2,661 kg/l
 - Kondisi kering = 2,433 kg/l
 - Kondisi ssd = 2,519 kg/l
- Penyerapan Air (*Absorpsi air*) = 3,250 %
- Berat volume :
 - Kondisi padat = 1,665 kg/l
 - Kondisi gembur = 1,559 kg/l
- Kadar lumpur = 2,688 %

- Kadar organik dengan warna srandar no. 1
- Kadar air = 2,828 %
- Specific Surface = 58,2 cm²/gr

4. Bubuk Kaca

Bubuk kaca yang digunakan dari pemecahan kaca jendela bening yang hasil pengujiannya sebagai berikut :

- Analisa saringan masuk daerah spesifikasi ASTM C 33 – 92a.
- Modulus kehalusan = 3,092
- Specific Gravity :
Kondisi apparent = 2,428 kg/l
Kondisi kering = 2,387 kg/l
Kondisi ssd = 2,404 kg/l
- Absorpsi air = 0,705 %
- Berat volume :
Kondisi padat = 1,639 kg/l
Kondisi gembur = 1,464 kg/l
- Kadar debu pemecah = 4,00 %
- Kadar organik dengan warna < warna standar no. 1
- Kadar air = 0,533 %
- Specific Surface = 53,4 cm²/gr
- Komposisi kimia dan alkali-silika reaktif dapat dilihat pada tabel III.2.1.

III.3. DESAIN CAMPURAN BETON

Dengan diketahuinya informasi mengenai material yang digunakan, selanjutnya dilakukan langkah desain campuran beton. Dalam hal ini dicoba didekati dengan metoda *Dreux*.

1. Campuran beton dengan rasio water-cement bervariasi.

a. Pembuatan Benda Uji Beton.

Digunakan jumlah semen 560 kg/m^3 dan direduksi dengan abu terbang aebesar 15 % berat semen.

Bila direncanakan beton yang plastis dengan pemadatan kuat dan diameter maksimum agregat kasar 20 mm, dari tabel II.3.5 dapat ditentukan koefisien kekompakan beton $\tau = 0,830 \text{ m}^3$ per m^3 beton. Kemudian dilakukan koreksi kekompakan beton :

- Menggunakan agregat halus alam dan agregat kasar dipecah, sebesar :

$$k_1 = - 0,01$$

- Jumlah semen $\neq 350$, sebesar

$$k_2 = (560 - 350) / 5000 = 0,042$$

Koefisien kekompakan yang telah dikoreksi :

$$\tau = 0,830 - 0,01 + 0,042 = 0,862 \text{ m}^3$$

Volume absolut beton terdiri dari :

- volume semen = $560/3,15 = 177,78 \text{ l/m}^3$
- volume agregat = $1000 * (0,862) - 177,78 = 684,22 \text{ l/m}^3$

Dari persamaan granulometri (lihat lampiran II.3.2.) didapat komposisi agregat sebagai berikut :

- Agregat halus = 38 %
- Agregat kasar = 62 %

Komposisi campuran dalam 1 m³ beton (lihat tabel III.3.1)

- Air (w/c = 0,25) = 140,0 kg (variasi 1.1).
(w/c = 0,30) = 168,0 kg (variasi 1.2).
(w/c = 0,35) = 196,0 kg (variasi 1.3).

- Batu pecah = 0,62 * 684,22 * 2,678 = 1136,05 kg
- Bubuk gelas = 0,38 * 684,22 * 2,404 = 625,05 kg

Untuk perbandingannya, bubuk gelas diganti dengan pasir

- Pasir = 0,38 * 684,22 * 2,519 = 654,95 kg

Tabel III.3.1 Komposisi Beton I

VARIASI W/C	0,25		0,30		0,35	
	Berat (kg/m ³)		Berat (kg/m ³)		Berat (kg/m ³)	
	B.glass	B.pasir	B.glass	B.pasir	B.glass	B.pasir
Semen	476,00	476,00	476,00	476,00	476,00	476,00
Air	140,00	140,00	168,00	168,00	196,00	196,00
Batu Pecah	1136,05	1136,05	1136,05	1136,05	1136,05	1136,05
Bubuk Gelas	625,05	-	625,05	-	625,05	-
Pasir	-	654,95	-	654,95	-	654,95
Fly Ash	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00
Superplasticizer	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40

Sumber : Konstruksi Beton Indonesia, Ir. Sutami.

b. Pembuatan Benda Uji Mortar

Dugunakan jumlah semen 560 kg/m^3 dan direduksi dengan abu terbang sebesar 15 % berat semen.

Bila direncanakan mortar beton yang plastis dengan pemadatan kuat dan diameter maksimum agregat 5 mm, dari tabel II.3.5 didapat koefisien kekompakan beton sebesar $\tau = 0,775 \text{ m}^3$ per m^3 beton.

Koreksi kekompakan beton :

- Menggunakan agregat halus alam dan agregat kasar dipecah , sebesar :

$$k_1 = - 0,01$$

- Jumlah semen $\neq 350$, sebesar :

$$k_2 = (560 - 350)/5000 = 0,042$$

Koefisien kekompakan yang telah dikoreksi :

$$\tau = 0,775 - 0,001 + 0,042 = 0,807 \text{ m}^3$$

Volume absolut mortar beton terdiri dari :

- Volume semen = $560/3,15 = 177,78 \text{ l/m}^3$
- Volume Agregat = $1000 * (0,807) - 177,78 = 629,22 \text{ l/m}^3$

Komposisi campuran dalam 1 m^3 mortar, lihat tabel III.3.2

- Air ($w/c = 0,25$) = 140,0 kg (variasi I.1)
($w/c = 0,30$) = 168,0 kg (variasi I.2)
($w/c = 0,35$) = 196,0 kg (variasi I.3)
- Bubuk gelas = $629,22 * 2,404 = 1512,64 \text{ kg}$

Untuk pembandingnya, bubuk gelas diganti dengan pasir

▪ Pasir = $629,22 * 2,518 = 1585,01$ kg

Tabel III.3.2. Komposisi Mortar

VARIASI W/C	0,25		0,30		0,35	
KOMPONEN	BERAT (Kg/m ³)		BERAT (Kg/m ³)		BERAT (Kg/m ³)	
	M.GLASS	M.PASIR	M.GLASS	M.PASIR	M.GLASS	M.PASIR
SEMEN	476,00	476,00	476,00	476,00	476,00	476,00
AIR	140,00	140,00	168,00	168,00	196,00	168,00
BUBUK GELAS	1512,00	-	1512,64	-	1512,64	-
PASIR	-	1585,01	-	1585,01	-	1585,01
FLY ASH	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00
SUPERPLASTICIZER	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40

Sumber : Desain Campuran Beton, Jurnal Teknik Sipil ITB

2. Campuran beton dengan variasi perbandingan agregat

Langka desain campuran ini identik dengan desain 1.a dan pembuatan benda uji betonnya tidak menggunakan komposisi agregat dari kurva granulometri, tetapi langsung dicoba dengan perbandingan agregat halus dan agregat kasar sebagai berikut :

- Agregat halus a). 35% b). 40% c). 45%

- Agregat kasar a). 65% b). 60% c). 55%

Komposisi campuran dalam 1m^3 beton (lihat tabel III.3.3)

- Air ($w/c = 0,25$) = 140,0 kg (dari variasi disain 1).
- Perbandingan agregat 35/65
 - Batu pecah = $0,65 \times 684,22 \times 2,678 = 1191,02$ kg
 - Bubuk gelas = $0,35 \times 684,22 \times 2,404 = 575,70$ kg
- Perbandingan agregat 40/60
 - Batu pecah = $0,60 \times 684,22 \times 2,678 = 1099,40$ kg
 - Bubuk gelas = $0,40 \times 684,22 \times 2,404 = 657,95$ kg
- Perbandingan agregat 45/55
 - Batu pecah = $0,55 \times 684,22 \times 2,678 = 1007,79$ kg
 - Bubuk gelas = $0,45 \times 684,22 \times 2,404 = 740,19$ kg

Untuk pembandingnya, bubuk gelas diganti dengan pasir

- Pasir (35%) = $0,35 \times 684,22 \times 2,519 = 603,24$ kg
- Pasir (40%) = $0,40 \times 684,22 \times 2,519 = 689,42$ kg
- Pasir (45%) = $0,45 \times 684,22 \times 2,519 = 775,60$ kg

Tabel III.3.3. Komponen Beton II

VARIASI AGRERAT	H/K = 35/65		H/K = 40/60		H/K = 45/55	
KOMPONEN	BERAT (Kg/m ³)		BERAT (Kg/m ³)		BERAT (Kg/m ³)	
	M.GLASS	M.PASIR	M.GLASS	M.PASIR	M.GLASS	M.PASIR
SEMEN	476,00	476,00	476,00	476,00	476,00	476,00
AIR	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00
BATU PECAH	1191,02	1191,02	1099,40	1099,40	1007,79	1007,79
BUBUK GELAS	575,70	-	657,95	-	740,19	-
PASIR	-	603,24	-	689,42	-	775,60
FLY ASH	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00
SUPERPLASTICIZER	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40

Sumber : Konstruksi Beton Indonesia, Ir. Sutami.

Keterangan :

- B.GLASS = Campuran beton dengan bubuk kaca/gelas.
- B.PASIR = Campuran beton dengan pasir.
- M.GLASS = Campuran mortar dengan bubuk kaca/gelas.
- M.PASIR = Campuran mortar dengan pasir.
- W/C = Water-cement ratio.
- H/K = Perbandingan agregat halus dan kasar.

III.4. Pengecoran dan Perawatan Beton

Sebelum dilakukan pengecoran bahan-bahan dasar beton, pertama-tama dilakukan penimbangan semen, agregat, air dan bahan tambahan. Setelah itu dilakukan pengadukan dengan menggunakan beton molen, mula-mula masukan batu

pecah, pasir atau bubuk gelas dan semen yang sudah dicampur dengan abu terbang ke beton molen kemudian aduk selama ± 30 detik agar bahan-bahan tersebut tercampur secara merata. Selanjutnya masukkan air sedikit-sedikit sampai merata dan sambil diaduk dengan beton molen selama 3 menit, setelah itu hentikan (biarkan) adukan dan kemudian aduk lagi campuran sampai merata selama 2 menit. Selanjutnya adukan beton segar siap untuk dicetak ke dalam mould silinder $\phi 10$ cm tinggi 20 cm.

Sebelum percetakan, dilakukan pengukuran nilai slump dan berat jenis beton segar. Istilah cetakan yang tersedia dengan adukan beton dalam 3 lapis, dimana setiap lapis dipadatkan di atas meja getar selama ± 15 detik. Setelah 24 jam adukan beton dalam cetakan, kemudian cetakan dibuka dan benda uji (specimen) dimasukkan ke dalam bak air. Rendam benda uji dalam bak perawatan beton (curing) dan keluarkan benda uji untuk dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 14, 28 hari.

III.5. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap kombinasi campuran berikut :

- a. Mix BP-XXX : Beton dengan komposisi agregat kasar alam (batu pecah) dan pasir alam serta bervariasi rasio water-cement 0,25; 0,30 dan 0,35 (sebagai beton pasir/pembanding).

- b. Mix BG-XXX : Beton dengan komposisi agregat kasar alam (batu pecah) dan bubuk kaca/gelas serta bervariasi rasio water-cement 0,25; 0,30 dan 0,35 (sebagai beton gelas/kaca).
- c. Mix MP-XXX : Mortar pasir alam dengan variasi rasio water-cement 0,25; 0,30 dan 0,35 (sebagai mortar pasir/pembanding).
- d. Mix MG-XXX : Mortar bubuk kaca/gelas dengan variasi rasio water-cement 0,25; 0,30 dan 0,35 (sebagai mortar gelas/kaca).

Sehingga total spesimen silinder beton yang diuji kuat tekan uniaksial sebanyak 40 buah.

Setelah benda uji mencapai umur pengujian dan sebelum dilakukan uji kuat tekan, silinder beton/mortar harus dahulu di capping agar permukaan spesimen rata dan bahan capping yang digunakan adalah belerang. Letakkan benda uji silinder beton/mortar sentris di bawah mesin, diberi beban perlahan-lahan sampai hancur, dan dicatat beban maksimum yang terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Dari penelitian dan hasil data yang telah dilakukan, diambil beberapa kesimpulan :

1. Bubuk kaca yang digunakan berasal dari jenis kaca rata/lembaran. Bubuk kaca ini merupakan agregat yang masih layak digunakan dalam beton dan memiliki sifat “merugikan” karena mengandung silika reaktif yang dapat bereaksi dengan alkali semen sehingga mengakibatkan terjadi ekspansi beton.
2. Bubuk kaca ini digunakan sebagai agregat halus buatan. Pola runtuh beton yang terjadi bila ditinjau dari spesifikasi permukaan (*specific surface*) area agregat halusnya, untuk *specific surface* pasir menghasilkan ikatan mortar yang cukup kuat dan rapat sehingga pola runtuh beton pasir banyak berbentuk kolom (*columnar*) serta kerucut (*cone*) . Untuk *specific surface* bubuk kaca menghasilkan ikatan mortar yang lemah dan renggang sehingga pola runtuh beton gelas banyak berbentuk kerucut (*cone*) dan gunting (*shear*).
3. Beton gelas yang dihasilkan belum dapat digolongkan sebagai beton ringan (*lightweight concrete*) karena mempunyai *dry density* 2377 kg/m³. *Apparent Specific gravity* beton gelas (2,433) lebih kecil dari pada beton pasir (2,481).

4. Penggunaan bubuk kaca dalam beton kinerja tinggi menghasilkan kekuatan yang masih dapat ditingkatkan. Hal initerlihat pada campuran beton dengan rasio water-cement 0,25.
5. Kuat tekan beton gelas lebih rendah dari pada beton pasir. Makin besar rasio water-cement semakin kecil rasio kuat tekan beton gelas dengan beton pasir.
6. Makin rendah rasio water-cement semakin tinggi kuat tekan beton gelas. Sesuai halnya pada beton normal, denga syarat rasio water-cement yang digunakan cukup untuk proses hidrasi.

V.2. SARAN-SARAN

1. Perlunya dilakukan penelitian penggunaan agregat halus gabungan pasir dan kaca dalam campuran beton.
2. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut penggunaan agregat halus dan kasar buatan dari kaca yang dapat menghasilkan beton kinerja tinggi.
3. Perlunya dilakukan penelitian beton gelas yang menghasilkan beton ringan dengan menggunakan jenis-jenis kaca yang lebih ringan dari kaca soda-lime.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Suhud, R.** *Desain Campuran Beton*, **Jurnal Teknik Sipil ITB**, Februari – April 1991, Bandung
2. Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*, 1991, **Yayasan LPMB, Bandung**
3. Suhud R, *Beton Mutu Tinggi*, 1987.
4. Sutami, *Konstruksi Beton Indonesia*, **Jakarta : Pekerjaan Umum**.
5. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.
6. SKSNI 1991.

