

TUGAS AKHIR

**KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN
SERAT *POLYPROPYLENE MONOFILAMENT***

***COMPRESSIVE STRENGTH OF FOAM CONCRETE USING
POLYPROPYLENE MONOFILAMENT FIBERS***

**ABRAHAM DIO PRAYUDA TANDI
D011 17 806**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT POLYPROPYLENE MONOFILAMENT

Disusun dan diajukan oleh:

ABRAHAM DIO PRAYUDA TANDI

D011 17 1806

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Oktober 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M. Eng
NIP. 196805292002121002


Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M. Eng
NIP. 198604092019043001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M. Eng
NIP. 196805292002121002



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Abraham Dio Prayuda Tandi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT POLYPROPYLENE MONOFILAMENT FIBERS", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Gowa, 24 Juni 2021

Yang membuat

nyataan,



ABRAHAM DIO P. TANDI

NIM : D011 17 806

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT POLYPROPYLENE MONOFILAMENT FIBERS”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada kami.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Ir. Junus Tandj**, ibunda **Affan Yolanda Nonutu**, atas doa, kasih sayangnya, dan

segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. **Hamdar, Kak Sophiara, Febrika, Fauzan, Arya, Garuda, Theo Kak Miswar, Kak Wandu, Kak Nandar dan Kak Fadly** selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Saudara-saudari **PLASTIS 2018** yang senantiasa memberikan dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman-teman **Irfan, Athar, Alief, Dede, Jijim, Masniah, Lulu, Fikri, Rijal, Fatur, Naen, Rafli, Safa, Fachrizal, Agil, Dirga, Anjel, Jinan dan Syafira dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu** yang senantiasa selalu memberikan bantuan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Saudara-saudari **KMKO TEKNIK** yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesain tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 24 Juni 2021

Penulis

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang terbuat dari beberapa material dengan bahan utamanya adalah campuran antara agregat, bahan perekat, dan air pada proporsi tertentu. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya dibidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton busa. Beton busa adalah campuran mortar yang ditambahkan dengan cairan busa (*foam agent*). Beton busa memiliki berat volume yang lebih ringan dibanding dengan beton normal sehingga beton busa diklasifikasikan sebagai beton ringan. Akan tetapi beton busa memiliki kuat tekan yang relatif rendah. Untuk itu diperlukan material penyusun beton busa yang bisa meningkatkan kuat tekannya seperti penambahan serat *Polypropylene Monofilament Fibers*.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbandingan kuat tekan beton busa yang tidak menggunakan serat dan menggunakan serat. Serta menganalisis hubungan tegangan-regangan akibat beban tekan beton busa yang tidak menggunakan serat dan menggunakan serat.

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Penelitian ini menggunakan semen PCC, pasir, air, foam agent, dan serat *Polypropylene Monofilament*. Terdapat dua jenis sampel yang digunakan yaitu sampel yang tidak menggunakan serat dan sampel yang menggunakan serat *Polypropylene Monofilament*. Cetakan yang digunakan adalah cetakan silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm. Adapun proses perawatan dilakukan dengan curing udara. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan serat *Polypropylene Monofilament* mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan serat yaitu 2,64 MPa untuk benda uji tidak menggunakan serat dan 3,68 MPa untuk benda uji yang menggunakan serat pada umur 28 hari. Hal ini dilihat dari pengaruh penambahan serat meningkatkan daya ikat antar partikel. Seluruh benda uji juga memperlihatkan hubungan tegangan-regangan material yang getas dan membentuk elastisitas yang dipengaruhi oleh kuat tekan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Penelitian Terdahulu	7
B. Teori Beton.....	9
C. Teori Beton Ringan	11
D. Material Penyusun Beton	14
E. Sifat Mekanik Beton	25
BAB 3. METODE PENELITIAN	33
A. Tempat dan Waktu Penelitian	33
B. Jenis dan Sumber Penelitian	33
C. Bagan Alir Penelitian	33
D. Metode/Standar Pemeriksaan Karakteristik Material	35
E. Analisa Rancangan Campuran (Mix Design)	38
F. Alat dan Bahan Penelitian	39
G. Pembuatan Benda Uji	41

H. Perawatan Benda Uji.....	44
I. Pemeriksaan Berat Volume Beton.....	45
J. Pengujian Kuat Tekan	46
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
A. Karakteristik Material	48
B. Pengujian Slump	49
C. Berat Volume	49
D. Pengujian Kuat Tekan Beton Busa.....	51
E. Hubungan Tegangan Regangan Beton Busa	53
F. Rekapitulasi Hubungan Tegangan Regangan Beton Busa	59
G. Modulus Elastisitas.....	60
H. Pola Retak Beton Busa	61
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	63
A. Kesimpulan	63
B. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kurva Tegangan-Regangan Tipikal Beton	30
Gambar 2.	Kurva Tegangan-Regangan untuk berbagai kekuatan beton	30
Gambar 3.	Pola kehancuran berdasarkan SNI-1974-2011	32
Gambar 4.	Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 5.	Material beton busa	41
Gambar 6.	Prosedur pembuatan benda uji	44
Gambar 7.	Proses curing udara benda uji	45
Gambar 8.	Metode Pengujian kuat tekan	47
Gambar 9.	Slump test.....	49
Gambar 10.	Diagram perbandingan antara umur curing dan berat volume beton busa.....	51
Gambar 11.	Diagram perbandingan antara umur curing dan kuat tekan	53
Gambar 12.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan mix design I umur 7 hari	54
Gambar 13.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan mix design I umur 28 hari	56
Gambar 14.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan mix design II umur 7 hari	57
Gambar 15.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan mix design II umur 28 hari	58
Gambar 16.	Pola Retak Mix Design I.....	61
Gambar 17.	Pola Retak Mix Design II.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Syarat kimia utama	17
Tabel 2.	Syarat kimia tambahan	19
Tabel 3.	Syarat fisika utama	20
Tabel 4.	Syarat fisika tambahan	21
Tabel 5.	Rentang koefisien variasi yang dapat diterima	29
Tabel 6.	Metode pemeriksaan karakteristik agregat halus	35
Tabel 7.	Karakteristik Kima PCC	36
Tabel 8.	Karakteristik Fisik PCC	37
Tabel 9.	Karakteristik Serat <i>Polypropylene Monofilament</i>	38
Tabel 10.	Mix Design Beton Busa I	39
Tabel 11.	Mix Design Beton Busa II	39
Tabel 12.	Jumlah benda uji	42
Tabel 13.	Hasil Pemeriksaan karakteristik agregat halus	48
Tabel 14.	Berat Volume Benda Uji Mix Design I	49
Tabel 15.	Berat Volume Benda Uji Mix Design II	50
Tabel 16.	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Mix Design I</i>	52
Tabel 17.	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Mix Design II</i>	52
Tabel 18.	Rekapitulasi tegangan regangan beton busa	59
Tabel 19.	Modulus Elastisitas Beton Busa	60

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang terbuat dari beberapa material dengan bahan utamanya adalah campuran antara agregat, bahan perekat, dan air pada proporsi tertentu. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya dibidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton busa. Beton busa adalah campuran mortar yang ditambahkan dengan cairan busa (*foam agent*). Gelembung-gelembung busa menciptakan ruang berongga dalam struktur beton busa sehingga mengurangi kebutuhan pasir dan semen. Beton busa memiliki berat volume yang lebih ringan dibanding dengan beton normal sehingga beton busa diklasifikasikan sebagai beton ringan. Akan tetapi beton busa memiliki kuat tekan yang relatif rendah. Untuk itu diperlukan material penyusun beton busa yang bisa meningkatkan kuat tekannya, serta diharapkan memiliki keunggulan lain, seperti lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Kuat tekan merupakan salah satu sifat yang paling penting sebagai parameter mekanis dasar yang dibutuhkan dalam desain suatu struktur. Kuat tekan adalah kemampuan suatu struktur dalam menerima gaya tekan persatuan luas penampang. Untuk meningkatkan kuat tekan beton busa, maka digunakan bahan tambah serat *polypropylene-monofilament*.

Serat *Polypropylene-Monofilament* yang berbasis *polypropylene* yang menjadi kemajuan ilmu dalam dunia polimer. Biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan dengan plastik dan bahan yang mereka gantikan. *polyolefin* serat mencakup spektrum kegunaan dalam masyarakat saat ini. Mengenai penggunaannya dalam beton, pengembangan serat *Polypropylene Monofilament* berbasis poliolefin dengan sifat mekanik yang ditingkatkan telah memperluas penggunaan serat plastik tersebut melebihi penggunaan konvensional dalam pengendalian retak susut. Serat *Polypropylene Monofilament* memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan juga dapat meningkatkan kinerja sifat mekanik beton. Kekuatan ikatan antara monofilament fiber, semen dan gesekan antar muka yang terkait dengannya adalah sumber utama yang menghambat pergerakan serat.

Dari uraian diatas, penulis mencoba untuk mengangkat sebuah tugas akhir berjudul :

**“KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT
POLYPROPYLENE MONOFILAMENT”**

B. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, makadapat diambil rumusan masalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan serat *Polypropylene Monofilament* terhadap kuat tekan beton busa.

2. Bagaimana pengaruh penambahan serat *Polypropylene Monofilament* terhadap hubungan tegangan-regangan beton busa.
3. Bagaimana pengaruh penambahan serat *Polypropylene Monofilament* terhadap pola retak beton busa.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan serat *Polypropylene Monofilament* terhadap kuat tekan beton busa.
2. Menganalisis pengaruh penambahan serat *Polypropylene Monofilament* terhadap hubungan tegangan-regangan beton busa.
3. Menganalisis pengaruh penambahan serat *Polypropylene Monofilament* terhadap pola retak beton busa.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan informasi masukan sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai rancangan campuran beton busa dengan menggunakan serat *Polypropylene Monofilament*.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan pembaca dalam bidang Teknik Sipil serta

pengaplikasian dilapangan agar dapat memberikan solusi yang lebih efektif bagi pelaksanaan konstruksi.

E. Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkungnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.
2. Semen yang digunakan adalah semen portland komposit (PCC).
3. Pasir yang digunakan merupakan pasir sungai yang berasal dari Kabupaten Pinrang.
4. Foam Agent yang digunakan adalah Sikaporo® 40.
5. Proses *curing* dilakukan dengan cara *curing* udara.
6. Serat yang digunakan adalah serat *Monofilament*.
7. Menggunakan cetakan benda uji berbentuk silinder 10 cm x20 cm.
8. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

F. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungandari kelima bab tersebut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Nambiar, dkk (2009) melakukan penelitian yang berfokus pada perilaku susut pada beton berbuisa dimana beton busa dengan volume foam 50%, susut diamati menjadi sekitar 36% lebih rendah dari campuran dasar. Susut pada beton berbuisa adalah fungsi dari volume busa dengan demikian secara tidak langsung berkaitan dengan jumlah penyusutan dan sifat beton berbuisa. Pada kadar air yang rendah susut pada beton berbuisa sangat meningkat dan penyusutan menurun seiring dengan peningkatan volume busa serta dalam rentang kadar air yang lebih tinggi, penyusutan yang terjadi relatif lebih kecil. Meskipun hilangnya air dari pori-pori udara buatan pada beton berbuisa yang relatif lebih besar tidak akan menyebabkan penyusutan, pori-pori udara buatan ini berpengaruh pada stabilitas volume beton berbuisa secara tidak langsung, efek ini lebih besar pada volume busa yang lebih tinggi.

Gelim (2011), melakukan penelitian tentang berat jenis dan perilaku campuran beton busa dimana untuk campuran beton busa, ada perbedaan yang signifikan dalam Berat Jenis ($1000-1500 \text{ kg/m}^3$) dan perilaku penyerapan air sebagai peningkatan massa per-satuan volume. Beton busa dengan kepadatan rendah menyerap lebih

banyak air dibandingkan dengan kepadatan yang lebih tinggi. Hal ini juga jelas bahwa campuran pasta semen yang tidak mengandung abu terbang ($w/c=0,6$) menyerap lebih banyak air dari pada campuran beton busa. Hal ini juga dapat terlihat bahwa ada kecenderungan peningkatan penyerapan dengan penurunan kepadatan untuk semua campuran tetapi penyerapan kenaikan jauh lebih signifikan dalam pasta (tidak ada busa) campuran dari dalam campuran beton busa.

Saeid Gorbani, dkk (2018) menjelaskan bahwa bahwa penggunaan air bermagnetisasi untuk mencampur beton dapat meningkatkan kemampuan kerja beton segar dan *hardened strength* nya. Sementara itu, penggunaan beton busa dalam industri konstruksi semakin populer karena sifat-sifatnya yang sangat baik, seperti bobotnya yang rendah dan sifat isolasi termal yang sangat baik. Tetapi stabilitas busa dan kuat tekan beton yang relatif rendah dan kuat tarik belah dari beton masih menjadi tantangan utama bagi para insinyur untuk menggunakan bahan ini. Penelitian ini bermaksud untuk mengevaluasi pengaruh air magnet pada stabilitas busa, kekuatan tekan, kuat tarik belah, penyerapan air dan struktur mikro beton busa. Sebanyak 9 campuran telah disiapkan sebelumnya dengan air yang melewati medan magnet permanen selama 1, 5 dan 10 kali pada kecepatan aliran masing-masing 0,75 m/s; 1,75 m/s dan 2,75 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas busa, kuat tekan dan

kuat tarik belah dari beton busa meningkat secara signifikan dengan menggunakan air bermagnet, sedangkan penyerapan air beton busa yang berkurang sedikit.

Malau (2014), menjelaskan dalam penelitiannya bahwa ada beberapa metode untuk membuat beton yang dapat digunakan untuk mengurangi berat jenis (densitas) beton menjadi lebih ringan. Salah satu cara untuk membuat beton menjadi lebih ringan adalah dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori didalam beton. Bahan yang digunakan untuk membuat gelembung- gelembung udara/gas adalah foaming agent. Bahan tersebut digunakan untuk dapat menghasilkan beton yang lebih ringan.

Purnama Gunawan (2015), Menjelaskan bahwa pengaruh penambahan serat polypropilene pada beton ringan dengan teknologi gas terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas adalah peningkatan maksimum kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 48,18% pada kadar serat 0,75%; 48,44% pada kadar serat 0,75%; dan 59,47% pada kadar serat 0,75% dibandingkan dengan beton ringan gas tanpa serat polypropylene.

B. Teori Beton

Beton (*concrete*) merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 2847:2019)

Beton segar adalah campuran beton setelah selesai diaduk hingga beberapa saat karakteristik belum berubah. Beton keras adalah adukan beton yang terdiri dari campuran semen Portland atau sejenisnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang telah mengeras (SNI 2493:2011).

Agregat halus yang digunakan pada pencampuran beton biasanya adalah pasir alam atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Dari bahan pembentuk beton tersebut, semen berfungsi mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat berat volume setimbang (*equilibrium density*), antara 1140 dan 1840 kg/m³ (SNI 2847:2019).

Adapun kelebihan dan kekurangan beton antara lain sebagai berikut:

Kelebihan Beton :

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.

2. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.
Cetakan dapat pula dipakai berulang kali sehingga lebih ekonomis.
3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
4. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
5. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan Beton :

1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu di beri baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.
2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (expansion joint) untuk mencegah terjadinya retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.

Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

C. Teori Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m^3 (SNI 03-3449-2002).

Beton ringan dapat dibagi lagi dalam tiga golongan berdasarkan tingkat kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan dan berdasarkan jenis agregat ringan yang dipakai (Prawito, 2010). Klasifikasi beton ringan adalah sebagai berikut ini :

- Beton insulasi (Insulating Concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara 300 kg/m^3 - 800 kg/m^3 dan berkekuatan tekan berkisar $0,69$ - $6,89 \text{ MPa}$, yang biasanya dipakai sebagai beton penahan panas (insulasi panas) disebut juga Low Density Concrete. Beton ini banyak digunakan untuk keperluan insulasi, karena mempunyai kemampuan konduktivitas panas yang rendah, serta untuk peredam suara. Jenis agregat yang biasa digunakan adalah Perlite dan Vermiculite.

- Beton ringan dengan kekuatan sedang (Moderate Strength Concrete) Beton ringan dengan berat (density) antara 800 kg/m^3 - 1440 kg/m^3 , yang biasanya dipakai sebagai beton struktur ringan atau sebagai pengisi (fill concrete). Beton ini terbuat dari agregat ringan buatan seperti: terak (slag), abu terbang (fly ash), lempung,

batu sabak (slate), batu serpih (shale), dan agregat ringan alami, seperti pumice, skoria, dan tufa. Beton ini biasanya memiliki kekuatan tekan berkisar 6,89 - 17,24 MPa.

- Beton Struktural (Structural Concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara 1440 kg/m³ - 1850 kg/m³ yang dapat dipakai sebagai beton struktural jika bersifat mekanik (kuat tekan) dapat memenuhi syarat pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan berkisar > 17,24 MPa Untuk mencapai kekuatan sebesar itu, beton ini dapat memakai agregat kasar seperti expanded shale, clays, slate, dan slag.

Ada beberapa cara untuk memproduksi beton ringan tetapi itu semuanya hanya tergantung pada adanya rongga udara dalam agregat, atau pembuatan rongga udara dalam beton (Prawito, 2010), yaitu dilakukan dengan 3 cara berikut ini.

- Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/kerikil. Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar 1400 kg/m³ – 2000 kg/m³)
- Beton ringan tanpa pasir (No Fines Concrete), dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastinya atau sering disebut beton non pasir, sehingga tidak mempunyai sejumlah besar pori-pori. Berat isi berkisar antara 880 – 1200 kg/m³ dan

mempunyai kekuatan berkisar 7 – 14 MPa.

- Beton ringan yang diperoleh dengan memasukan udara dalam adukan atau mortar (beton aerasi), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran 0,1 – 1 mm. Memiliki berat isi 200 – 1440 kg/m³.

Sementara itu, beton busa adalah campuran antara semen, air, agregat dengan bahan tambah (admixture) tertentu yaitu dengan membuat gelembung-gelembung gas atau udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara didalam beton. Dengan ditambahkan foaming agent maka akan terbentuk pori-pori yang terjadi akibat reaksi kimia dimana kalsium hidroksida yang terkandung dalam pasir akan bereaksi membentuk gas hidrogen. Gas hidrogen tersebut akan membentuk gelembung-gelembung didalam campuran beton yang mengakibatkan volumenya akan menjadi lebih besar dari volume semula. Diakhir pengembangan, hidrogen yang terbentuk tadi akan terlepas ke atmosfer dan akan digantikan udara. Akibat terbentuknya rongga di dalam campuran beton tadi, maka berat jenis dari beton tersebut akan lebih kecil dari semula. Penggunaan foaming agent bertujuan untuk memperoleh berat jenis beton yang lebih ringan. *Foam agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antarmuka dan mengaktifkan antarmuka tersebut dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya.

D. Material Penyusun Beton

D.1 Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air, dengan menggunakan reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air (Standar BS EN 197-1).

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO₂) – dari lempung,
3. Alumina (Al₂O₃) – dari lempung

(dengan sedikit presentasi magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).

Indonesia telah mampu memproduksi semen Portland yang terdiri atas 5 jenis dan penggunaan (semen Portland jenis I,II,III,IV dan V). Dewasa ini, Indonesia juga telah mengembangkan semen Portland Pozzolan dan semen Portland Komposit yang menggunakan material anorganik dan linker semen (M. Wihardi Tjaronge,2012).

Adapun jenis dan penggunaan semen portland (menurut SNI 15-2049-2004) yakni:

- a. Jenis I yaitu semen yang penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyarakan pada jenis-jenis lain
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau hidrasi sedang.
- c. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat (SNI 15-2049-2004).

Syarat mutu semen Portland (menurut SNI 15-2049-2004) yakni :

Persyaratan kimia semen Portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Tabel 1. Syarat kimia utama

No	Uraian	Jenis semen Portland (%)				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,0 ^{b,c)}	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0 ^{b,c)}	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , maksimum					
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A > 8,0	3,5	d)	4,5	d)	d)
6	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₃ S, maksimum ^{a)}	-	-	-	35 ^{b)}	-
9	C ₂ S, minimum ^{a)}	-	-	-	40 ^{b)}	-
10	C ₃ A , maksimum ^{a)}	-	8,0	15	7 ^{b)}	5 ^{b)}
11	C ₄ AF + 2 C ₃ A atau ^{a)} C ₄ AF + C ₂ F , maksimum	-	-	-	-	25 ^{c)}

Sumber : SNI 15-2049-2004

CATATAN:

- a) Persyaratan pembatasan secara kimia berdasarkan perhitungan untuk senyawa potensial tertentu tidak harus diartikan bahwa oksida dari senyawa potensial tersebut dalam keadaan murni.

C = CaO, S = SiO₂, A = Al₂O₃, F = Fe₂O₃, contoh C₃A = 3CaO.Al₂O₃

Titanium dioksida (TiO₂) dan Fosfor pentaoksida (P₂O₅) termasuk dalam Al₂O₃.

Nilai yang biasa digunakan untuk Al_2O_3 dalam menghitung senyawa potensial (misal: C_3A) untuk tujuan spesifikasi adalah jumlah endapan yang diperoleh dengan penambahan NH_4OH dikurangi jumlah Fe_2O_3 ($\text{R}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang diperoleh dalam analisis kimia basah.

Apabila: $\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3} \geq 0,64$, maka persentase C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF

dihitung sebagai berikut:

$$\text{C}_3\text{S} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = (4,071 \times \% \text{CaO}) - (7,600 \times \% \text{SiO}_2) - (6,718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,430 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3)$$

$$\text{C}_2\text{S} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = (2,867 \times \% \text{SiO}_2) - (0,7544 \times \% \text{C}_3\text{S})$$

$$\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = (2,650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{C}_4\text{AF} = 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = (3,043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Apabila: $\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3} < 0,64$, terbentuk larutan padat ($\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_2\text{F}$) =

$$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$$

maka ($\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_2\text{F}$) dan C_3S dihitung sebagai berikut:

Semen dengan komposisi ini didalamnya tidak terdapat C_3A . C_2S tetap dihitung dengan menggunakan rumus di atas: Perhitungan untuk semua senyawa potensial adalah berdasarkan hasil penentuan oksidanya yang dihitung sampai sedekat mungkin 0,1%. Semua hasil perhitungan dilaporkan sampai sedekat mungkin dengan 1,0%.

- b) Apabila yang disyaratkan adalah kalor hidrasi seperti yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.), maka syarat kimia ini tidak berlaku.
- c) Apabila yang disyaratkan adalah pemuaian karena sulfat yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.), maka syarat kimia ini tidak berlaku.
- d) Tidak dapat dipergunakan

Tabel 2. Syarat kimia tambahan

No	Uraian	Jenis semen portland (%)				
		I	II	III	IV	V
1	C ₃ A , maksimum	-	-	8	-	-
2	C ₃ A , minimum	-	-	5	-	-
3	(C ₃ S + 2 C ₃ A) , maksimum	-	58 ^{b)}	-	-	-
4	Alkali, sebagai (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), maksimum	0,60 c)	0,60 c)	0,60 c)	0,60 c)	0,60 c)

Sumber : SNI 15-2049-2004

CATATAN

- a) Syarat kimia tambahan ini berlaku hanya secara khusus disyaratkan.
- b) Sama dengan keterangan untuk ^{b)} pada syarat kimia utama.
- c) Hanya berlaku bila semen digunakan dalam beton yang agregatnya bersifat reaktif terhadap alkali.

Persyaratan fisika semen Portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Tabel 3. Syarat Fisika Utama

No	Uraian	Jenis semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan:					
	Uji permeabilitas udara, m ² /kg Dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
	Blaine, min	280	280	280	280	280
2	Kekekalan :					
	Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan:					
	Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	125	100	240	-	80
	Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	200	70 ^{a)}	-	70	150
	Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	280	175	-	170	210
			120 ^{a)}	-		
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat: Gillmore					
	Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	Akhir, menit maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	- Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	- Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375

Sumber : SNI 15-2049-2004

CATATAN

Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.) atau jika syarat $C_3S + C_3A$ seperti tercantum pada tabel syarat kimia tambahan disyaratkan (Tabel 2.).

Tabel 4. Syarat fisika tambahan

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Pengikatan semu penetrasi akhir, % minimum	50	50	50	50	50
2	Kalor hidrasi Umur 7 hari, kal/gram, maks Umur 28 hari, kal/gram, maks	-	70 ^{b)}	-	60 70	- -
3	Kuat tekan: Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	-	280	-	-	-
4	Pemuaiian karena sulfat hari, %, maksimum	14	220 ^{b)}	-	-	0,040
5	Kandungan udara mortar, % volume, maksimum	12	12	12	12	12

Sumber : SNI 15-2049-2004

CATATAN

- a) Persyaratan fisika tambahan ini berlaku hanya jika secara khusus diminta.
- b) Bila syarat kalor hidrasi ini disyaratkan, maka syarat $C_3S + C_3A$ seperti tercantum pada tabel kimia tambahan (Tabel 2.) tidak diperlukan.

Syarat kuat tekan ini berlaku bila syarat kalor hidrasi seperti yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.) atau bila syarat $C_3S + C_3A$ seperti yang tercantum pada tabel syarat kimia tambahan (Tabel 2.) disyaratkan.

D.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2mm - 5mm. Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton ataupun batako. Pasir merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk membuat adukan. Selain itu juga pasir berpengaruh terhadap sifat tahan susut, keretakan dan kekerasan pada batako atau produk bahan bangunan campuran semen lainnya. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm; (SNI 03-2834-2002). Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus (Nawy, E. G,1998).

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

D.3 Air

Air diperlukan dalam pembuatan beton agar dapat terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan.

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang

menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Nawy, E. G. 1998).

D.4 Busa

Foam agent adalah suatu larutan pekat dari jenis *polyether polyol* yang dibentuk dari proses anionik. *Foam agent* yang digunakan berjenis *rigid foams* yang biasa digunakan dalam industri pelapis permukaan, perekat, atau sealant. Metode pengadukan foam agent bisa dilakukan dengan mesin generator busa dan metode adukan manual.

D.5 Serat *Polypropylene Monofilament*

Penggunaan serat digunakan untuk mengontrol pengurangan kekuatan dan susut pada beton. Keretakan mungkin terjadi, terutama pada beton berusia muda. Serat mampu meningkatkan kekuatan awal dan menghalangi pertumbuhan retakan awal. Bahkan ketika menggunakan serat pendek dan tipis yang memiliki kekuatan dan modulus elastisitas rendah, dapat memenuhi persyaratan (Kauffman, 2007).

Serat polypropylene (polipropilen, polietilen, dll.) mampu mencapai kekuatan yang sangat tinggi, tetapi umumnya modulus elastisitasnya sangat rendah. Kontraksi Poisson dan sifat hidrofobik polypropylene dan

polietilen memiliki sifat ikatan yang agak buruk ketika diamati pada proses matriks semen. Namun demikian, serat struktural berbasis polypropylene, yang disebut serat micro monofilament telah banyak digunakan untuk memperkuat beton pada pelat, shotcrete, dan elemen pra-cetak. Analisis tentang bagaimana serat ideal harus disusun menunjukkan, bahwa di satu sisi permukaan serat harus memungkinkan dispersi yang baik tanpa mempengaruhi sifat reologi beton segar. Pada beton yang mengeras, permukaan serat harus memfasilitasi ikatan dengan matriks semen. Zona antarmuka yang padat harus dibentuk. Sebaliknya, serat harus mampu menahan beban tegangan tinggi. Kebanyakan polimer memenuhi baik sifat permukaan yang diinginkan atau permintaan kekuatan tinggi. Laju aliran leleh, ukuran dan distribusi molekul, dan gugus fungsi merupakan parameter kunci polimer yang paling penting (Kauffman, 2007).

E. Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanis beton keras dapat diklasifikasikan sebagai (1) sifat jangka pendek atau sesaat dan (2) sifat jangka panjang. Sifat jangka pendek adalah (1) kekuatan tekan, tarik dan geser, dan (2) kekuatan yang diukur dengan modulus elastisitasnya. Sifat jangka panjang dapat diklasifikasikan dalam rangkai dan susut. Namun, pada penelitian ini hanya membahas kuat tekan beton saja. Beton baik dalam menahan tegangan tekan dari pada jenis tegangan yang lain dan umumnya pada perencanaan

struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karenanya kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam banyak kasus.

E.1. Slump

Slump adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat. Pengujian *slump* merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Tetapi dalam pelaksanaan di lapangan harus hati-hati, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan adukan beton pada pencapaian nilai *slump* yang ditentukan, sehingga hasil *slump* yang diperoleh di lapangan tidak sesuai dengan kekuatan beton yang diharapkan. (SNI 1972:2008).

E.2. Berat Volume Beton

Berat volume menurut SNI 1973:2016 adalah berat per satuan volume. Berdasarkan SNI 1973:2016 untuk menghitung berat volume (*density*) beton dalam kondisi segar dapat digunakan rumus :

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Dimana :

D = Densitas beton (kg/m^3)

M_c = Massa wadah ukur yang diisi beton (kg)

M_m = Massa wadah ukur (kg)

V_c = Volume wadah ukur (m^3)

Untuk menghitung berat volume (density) beton dalam kondisi bebas udara dapat digunakan rumus :

$$D = \frac{M}{V}$$

Dimana :

D = Densitas beton dalam kondisi bebas udara (kg/m^3)

M = Massa total dari semua material dalam campuran (kg)

V = Volume absolut total dari komponen material dalam campuran (m^3)

E.3. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan dapat dicapai sampai 14000 psi atau lebih, bergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama dan kualitas perawatan. Kekuatan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 3000 psi ($20.684 \text{ N}/\text{mm}^2$) sampai 6000 psi ($41.368 \text{ N}/\text{mm}^2$), dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 300 psi ($2.068 \text{ N}/\text{mm}^2$) sampai 10000 psi ($68.947 \text{ N}/\text{mm}^2$). Kekuatan tekan f'_c ditentukan

dengan silinder standar (berukuran 6 in x 12 in) yang dirawat dibawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Spesifikasi standar yang dipakai di Amerika Serikat biasanya diambil dari ASTM C-39. Perlu dipahami bahwa kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan. (Nawy, E. G. 1998).

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi beban tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luar penampang melintang.

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

Dimana:

f_c' = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm² atau MPa (Mega Pascal).

Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a) Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas beton.
- b) Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.

- c) Perawatan beton harus diperhatikan, sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
- d) Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan.
- e) Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

E.4. Ketepatan

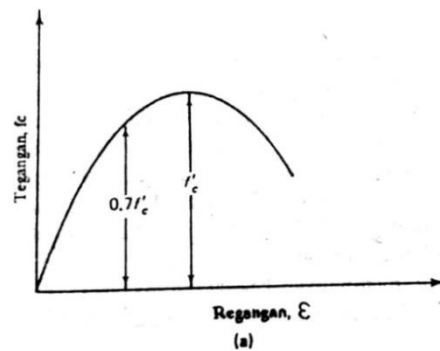
Berdasarkan SNI 1974:2011 ketepatan operator tunggal dari pengujian silinder dilihat dari nilai koefisien variasi. Nilai yang dapat diterima sebagai berikut :

Tabel 5. Rentang koefisien variasi yang dapat diterima

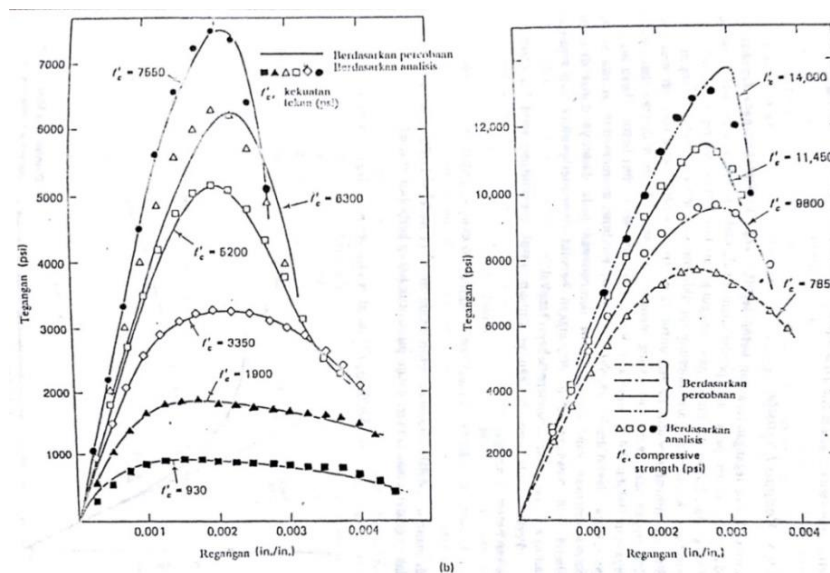
Operator tunggal	Koefisien variasi	Rentang yang dapat diterima	
		2 Hasil	3 Hasil
Kondisi laboratorium	2,37%	6,6%	7,8%
Kondisi Lapangan	2,87%	8,0%	9,5%

E.5. Kurva Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Gambar 3. memperlihatkan kurva tegangan regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan benda uji silinder beton dan dibebani tekan uniaksial selama beberapa menit.



Gambar 1. Kurva tegangan-regangan tipikal beton (Nawy, E. G. 1998).



Gambar 2. Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton (Nawy, E. G. 1998).

Bagian pertama kurva ini (sampai sekitar 40% dari f_c') pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linear. Sesudah mendekati 70% tegangan hancur, materialnya banyak kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidakinieran diagram. Pada beban batas, retak yang searah dengan arah beban menjadi sangat terlihat dan hampir semua

silinder beton (kecuali yang kekuatannya sangat rendah) akan segera hancur. Gambar 4. memperlihatkan kurva tegangan regangan beton untuk berbagai kekuatan yang diperoleh dari Portland cement Association. Terlihat jelas bahwa (1) semakin rendah kekuatan beton, semakin tinggi regangan hancurnya, (2) semakin tinggi kekuatan tekan beton, panjang bagian linier pada kurva semakin bertambah; dan (3) ada reduksi daktilitas apabila kekuatan beton bertambah (Nawy, E. G. 1998).

E.6. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 10 x 20 cm dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-94 dan volumetric strain di hitung dengan rumus:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_L \quad (1)$$

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_l - 0.000050} \quad (2)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas, MPa,

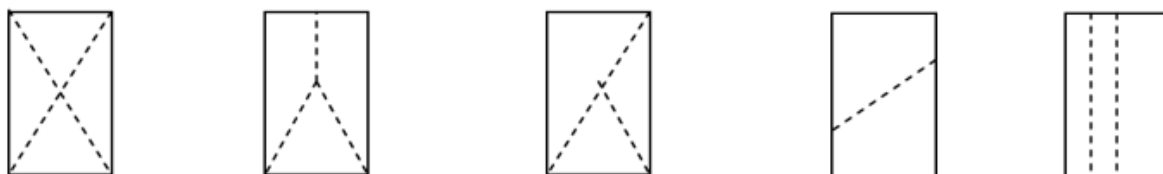
S_1 = Tegangan 40% dari beban ultimit,

S_2 = Tegangan searah regangan longitudinal, ε_1 , and

ε_l = Regangan longitudinal.

E.7. Pola Retak dan Kehancuran

Berdasarkan SNI 1974-2011 pola kehancuran pada benda uji dibedakan menjadi 5 bentuk :



Gambar 3. Pola kehancuran berdasarkan SNI 1974-2011

Keterangan:

1. Bentuk kehancuran kerucut
2. Bentuk kehancuran kerucut dan belah
3. Bentuk kehancuran kerucut dan geser
4. Bentuk kehancuran geser
5. Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar).