

TUGAS AKHIR

**STUDI LABORATORIUM HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN
KUAT TARIK BELAH BETON BUSA DENGAN
MENGUNAKAN SEMEN PCC**

***LABORATORY STUDIES CORRELATION OF
COMPRESSIVE STRENGTH AND SPLIT TENSILE
STRENGTH FOAMED CONCRETE USING PORTLAND
COMPOSITE CEMENT***

**ANDI TARMIZI BAHAR
D111 16 014**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
☎ <http://civil.unhas.ac.id> ✉ civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

**HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON
BUSA DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PCC**

Disusun oleh

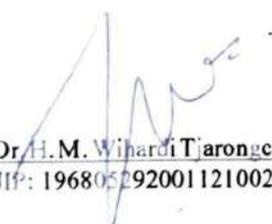
ANDI TARMIZI BAHAR

D111 16 014

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

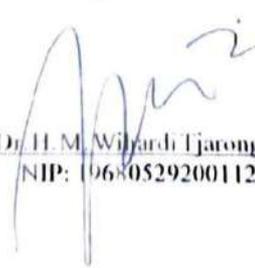
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjarong, ST, MEng
NIP: 196805292001121002


Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT
NIP : 197912262005011001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjarong, ST, MEng
NIP: 196805292001121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Andi Tarmizi Bahar, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON BUSA DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PCC**", 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 mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 20 April 2020

Yang membuat
pernyataan,

ANDI TARMIZI BAHAR
NIM: D111 16 014

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI LABORATORIUM HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON BUSA DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PCC”** 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. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, 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 **Drs. A. Baharuddin** dan ibunda **A. Najemiah Pakki S.Pd.**, atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Kakak-kakak tercinta **A. Syamsu Alam Bahar S.Pd.**, **A. Sri Umbayana Bahar S.Kep.**, dan **A. Sri Undayani Bahar S.Kep.**, yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. **Kak Miswar ST. MT.**, **Halima, Ria, Fadly** dan **Kak Gilbert** selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa

memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

4. Saudara-saudari **PATRON 2017** yang senantiasa memberikan dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Sahabat-sahabat tercinta **Ikhsan, Pira, Maryam, dan Wanda** yang selalu memberikan bantuan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Tim KBGI UNHAS **Rifqi, Teguh, Mus** dan **Yusril** yang senantiasa menghibur, membantu dalam proses pengujian benda uji dilaboratorium serta membantu dalam pengolahan data 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, 20 April 2020

Penulis

ABSTRAK

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya di bidang 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. 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, mudah didapatkan, serta ramah lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian menggunakan semen portland tipe I dan abu terbang.

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk menganalisis hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah menggunakan semen PCC serta membuat model hubungan tegangan-regangan beton busa dengan menggunakan semen PCC.

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Penelitian ini menggunakan semen PCC, pasir silika, air, *admixture* tipe F dan *foam agent*. Terdapat tiga jenis sampel yang dibedakan berdasarkan jumlah volume busa yaitu 15,7 liter, 25,15 liter dan 37,68 liter. Terdapat satu jenis cetakan yang digunakan, yaitu cetakan silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm. Adapun proses perawatan dilakukan dengan *curing* udara. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh benda uji mengalami peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah dari umur 3 hari hingga 28 hari, dimana semakin banyak volume busa yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton busa. Seluruh benda uji juga memperlihatkan hubungan tegangan-regangan material yang getas dan membentuk elastisitas dipengaruhi oleh kuat tekan dan kuat tarik belah. Persentase nilai kuat tarik belah dari nilai kuat tekan pada umur 28 hari yaitu 0,115 % sampai 0,181 %

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat penelitian	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan.	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Penelitian Terdahulu tentang Beton Busa	7
B. Teori Beton	10
C. Teori Beton Ringan.....	13
D. Material Penyusun Beton Busa	16
D.1. Semen Portland Komposit	16

D.2. Standar Semen berdasarkan ASTM C 150 – 07....	17
D.3. Agregat Halus	22
D.4. Air	23
D.5. Busa.....	24
D.6. Bahan Tambah	25
E. Sifat Mekanik Beton.....	26
E.1. <i>Slump</i>	27
E.2. Berat Volume Beton	27
E.3. Kekuatan Tekan	28
E.4. Kekuatan Tarik Belah	30
E.5. Kurva Tegangan Regangan	30
E.6. Poission Ratio	32
E.7. Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah	33
E.8. Pola Retak dan Kehancuran	33
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	35
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
B. Jenis dan Sumber Penelitian	35
C. Bagan Alir Penelitian	35
D. Metode/Standar Pemeriksaan Karakteristik Material .	37
D.1. Pemeriksaan Karateristik Agregat Halus (Pasir) .	37
D.2. Karakteristik Semen Portland Komposit.....	37
D.3. Admixture.....	39
E. Analisa Rancangan Campuran (<i>Mix Design</i>)	40

F.	Alat dan Bahan Penelitian	40
G.	Pembuatan Benda Uji	42
H.	Perawatan Benda Uji.....	45
I.	Metode Pengujian <i>Slump</i>	45
J.	Pemeriksaan Berat Volume Beton.....	45
K.	Pengujian Benda Uji	46
	K.1. Kuat Tekan.....	47
	K.2. Kuat Tarik Belah.....	48
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		50
A.	Karakteristik Material.....	50
	A.1. Karakteristik Agregat Halus.....	50
B.	<i>Mix Design</i> Beton Ringan	50
	B.1. <i>Mix Design</i> Beton Busa I	50
	B.2. <i>Mix Design</i> Beton Busa II	51
	B.3. <i>Mix Design</i> Beton Busa III	51
C.	Pengujian <i>Slump</i>	52
D.	Berat Volume Beton	53
	D.1. Berat Volume <i>Mix Design</i> I.....	53
	D.2. Berat Volume <i>Mix Design</i> II.....	54
	D.3. Berat Volume <i>Mix Design</i> III.....	54
E.	Pengujian Kuat Tekan Beton Busa.....	56
	E.1. Kuat Tekan Beton Busa <i>Mix Design</i> I.....	57
	E.2. Kuat Tekan Beton Busa <i>Mix Design</i> II.....	57

E.3. Kuat Tekan Beton Busa <i>Mix Design</i> III.....	57
F. Hubungan Tegangan-Regangan Beton Busa Pengujian Kuat Tekan	59
F.1. Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> I.....	59
F.2. Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> II....	62
F.3. Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> III...	65
G. Rekapitulasi Tegangan Regangan Beton Busa Pengujian Kuat Tekan Beton Busa.....	68
H. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Busa.....	68
E.1. Kuat Tarik Belah Beton Busa <i>Mix Design</i> I.....	69
E.2. Kuat Tarik Belah Beton Busa <i>Mix Design</i> II.....	69
E.3. Kuat Tarik Belah Beton Busa <i>Mix Design</i> III.....	69
I. Hubungan Tegangan-Regangan Beton Busa Pengujian Kuat Tarik Belah	71
1.1. Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> I.....	71
1.2. Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> II....	74
1.3. Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> III...	77
J. Rekapitulasi Tegangan Regangan Beton Busa Pengujian Kuat Tekan Beton Busa.....	80
K. Nilai Poission Ratio Beton Busa	80
L. Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Busa	81
M. Pola Retak Beton Busa	82

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
A. Kesimpulan.....	85
B. Saran.....	86

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Syarat fisika semen <i>Portland</i> komposit	16
Tabel 2. Standar persyaratan komposisi.....	18
Tabel 3. Persyaratan Komposisi Opsional ^A	20
Tabel 4. Persyaratan fisika standar.....	21
Tabel 5. Metode pemeriksaan karakteristik agregat halus	37
Tabel 6. Karakteristik Kimia PCC.....	38
Tabel 7. Karakteristik fisik PCC.....	39
Tabel 8. Karakteristik <i>admixture</i>	40
Tabel 9. Jumlah benda uji.....	42
Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	50
Tabel 11. <i>Mix Design</i> mortar I	51
Tabel 12. <i>Mix Design</i> Mortar II	51
Tabel 13. <i>Mix Design</i> Mortar III	52
Tabel 14. Berat Volume Benda Uji <i>Mix Design</i> I	53
Tabel 15. Berat Volume Benda Uji <i>Mix Design</i> II	54
Tabel 16. Berat Volume Benda Uji <i>Mix Design</i> III	55
Tabel 17. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Mix Design</i> I	57
Tabel 18. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Mix Design</i> II	57
Tabel 19. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Mix Design</i> III	57
Tabel 20. Rekapitulasi tegangan regangan rata-rata beton busa pengujian kuat tekan	68
Tabel 21. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Mix Design</i> I	69

Tabel 22. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Mix Design</i> II	69
Tabel 23. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Mix Design</i> III	70
Tabel 24. Rekapitulasi tegangan regangan rata-rata beton busa pengujian kuat tekan	80
Tabel 25. Nilai Poisson Ratio Beton Busa	81
Tabel 26. Persamaan kolerasi antar kuat tekan dan kuat tarik belah.	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kurva tegangan-regangan tipikal beton (Nawy, E. G. 1998).....	31
Gambar 2. Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton (Nawy, E. G. 1998)	31
Gambar 3. Pola kehancuran berdasarkan SNI 1974-2011.....	33
Gambar 4. Bagan alir penelitian	36
Gambar 5. Material beton busa	41
Gambar 6. Proses pembuatan benda uji	44
Gambar 7. Proses <i>curing</i> udara benda uji	45
Gambar 8. Pengujian kuat tekan silinder 10 cm x 20 cm.....	48
Gambar 9. Pengujian kuat tarik belah silinder 10 cm x 20 cm	49
Gambar 10. Slump Test.....	52
Gambar 11. Diagram perbandingan antara umur <i>curing</i> dan berat volume beton ringan	56
Gambar 12. Diagram pebandingan antara umur <i>curing</i> dan kuat tekan.....	58
Gambar 13. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> I umur 3 hari	59
Gambar 14. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> I umur 7 hari	60
Gambar 15. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> I umur 28 hari	61

Gambar 16. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> II umur 3 hari	62
Gambar 17. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> II umur 7 hari	63
Gambar 18. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> II umur 28 hari	64
Gambar 19. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> III umur 3 hari	65
Gambar 20. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> III umur 7 hari	66
Gambar 21. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan <i>mix design</i> III umur 28 hari	67
Gambar 22. Diagram pebandingan antara umur <i>curing</i> dan kuat tarik belah.....	70
Gambar 23. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> I umur 3 hari.....	71
Gambar 24. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> I umur 7 hari.....	72
Gambar 25. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> I umur 28 hari.....	73
Gambar 26. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> II umur 3 hari.....	74

Gambar 27. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat Tarik belah <i>mix design</i> II umur 7 hari	75
Gambar 28. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> II umur 28 hari	76
Gambar 29. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> III umur 3 hari	77
Gambar 30. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarikbelah <i>mix design</i> III umur 7 hari	78
Gambar 31. Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tarik belah <i>mix design</i> III umur 28 hari	79
Gambar 32. Pola Retak <i>Mix Design</i> I	83
Gambar 33. Pola Retak <i>Mix Design</i> II	84
Gambar 34. Pola Retak <i>Mix Design</i> III	84

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 di bidang 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.

Sebagai upaya mengurangi eksploitasi alam akibat penambangan bahan baku semen serta mengatasi permasalahan lingkungan, telah dikembangkan jenis semen Portland khusus, yaitu Semen Portland Komposit (PCC). Semen Portland Komposit (PCC) dihasilkan dari penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi, pozolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari masa semen Portland komposit (PCC) (SNI 15- 7064-2004).

Beton busa juga mulai digunakan sebagai lapisan perkerasan jalan yang ada di Indonesia. seperti halnya di Flyover Purwosari di kota Solo.

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

“STUDI LABORATORIUM HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON BUSA DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PCC”

B. Rumusan Masalah Penelitian

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

1. Bagaimana hubungan tegangan-regangan akibat beban tekan beton busa yang menggunakan semen PCC.
2. Bagaimana hubungan tegangan-regangan akibat beban tarik beton busa yang menggunakan semen PCC.
3. Bagaimana hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah beton busa menggunakan semen PCC.

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis hubungan tegangan-regangan akibat beban tekan beton busa yang menggunakan semen PCC.
2. Menganalisis hubungan tegangan regangan akibat beban tarik beton busa yang menggunakan semen PCC.
3. Menganalisis hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah beton busa dengan menggunakan semen PCC.

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 semen PCC.
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 dan ekonomis bagi pelaksanaan konstruksi.

E. Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya 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) yang berasal dari PT. Tonasa Semen Indonesia.
3. Pasir yang digunakan merupakan pasir sungai yang berasal dari Kabupaten Pinrang.
4. Proses *curing* dilakukan dengan cara *curing* udara.
5. *Admixture* yang digunakan merupakan *water reducing and high range admixture* (tipe F)

6. Menggunakan cetakan benda uji berbentuk silinder 10 cm x 20 cm.
7. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 3, 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 kandungan dari 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 tentang 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.

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 berbuis. Pada kadar air yang rendah susut pada beton berbuis 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 berbuis yang relatif lebih besar tidak akan menyebabkan penyusutan, pori-pori udara buatan ini berpengaruh pada stabilitas volume beton berbuis 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.

Erwin (2018), pada penelitiannya menemukan bahwa dengan penambahan foam agent pada campuran beton sangat berpengaruh

pada densitas, kuat tekan dan porositas pada beton busa. Keadaan ini menunjukkan bahwa pemakaian foam agent sebesar 1%, 2%, 3% dan 4% menghasilkan tingkat kerapatan densitas yang semakin rendah. Beton busa dengan pemakaian foam agent dapat meningkatkan kuat tekan beton yang lebih baik dari pada beton biasa, dimana pada prosentase campuran 1% dan 2% nilai kuat tekan beton masuk dalam kategori tingkat mutu I. sedangkan untuk kemampuan kekedapan air beton dengan penambahan foam agent lebih baik sifat kekedapan airnya dibandingkan beton tanpa tambahan foam agent.

Lermen, dkk (2019) melakukan penelitian tentang penambahan bahan adiktif, jenis semen dan jumlah *foam agent* yang digunakan dalam komposisi beton berbuisa dapat mempengaruhi kuat tekan beton berbuisa. Pada penelitiannya digunakan tiga jenis bahan adiktif yaitu *superplastisizer* dengan polycarboxylate, *entrainment* dan *plastisizer*. Jumlah penambahan bahan adiktif disesuaikan dengan jumlah penggunaan yang direkomendasikan oleh pabrik yaitu 0,5% dari berat semen. Semen yang digunakan yaitu CP II-Z (semen dengan penambahan *fly ash*); CP II-F (semen dengan penambahan *limestone filler*); and CP V-ARI (semen mutu tinggi tanpa penambahan pozzolan). Perbandingan busa dan air yang digunakan adalah 1:30, dengan foam agent yaitu Amide 90. Untuk uji sampel dengan waktu curing 28 hari, dapat dinyatakan bahwa jenis semen, jumlah busa, dan interaksi antara faktor-faktor menunjukkan pengaruh yang signifikan yaitu 95%. Adapun

jenis adiktif, pengaruhnya tidak dapat ditentukan. Jumlah busa adalah faktor yang paling memengaruhi kekuatan tekan, kontribusinya adalah 39%. Jenis semen juga memengaruhi kekuatan tekan, kontribusinya adalah 13%. Setelah benda uji dicuring selama 365 hari, diamati bahwa semua faktor memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan benda uji, termasuk jenis adiktif, yang memberikan kontribusi sebesar 9%.

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.

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 2847:2013)

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 03-4810-1998).

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 2847:2013).

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.
4. 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 melampui 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 $6,89$ - $17,24 \text{ MPa}$.

- Beton Struktural (Structural Concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara 1440 kg/m^3 - 1850 kg/m^3 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 $1400 \text{ kg/m}^3 - 2000 \text{ kg/m}^3$)
- 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 $880 - 1200 \text{ kg/m}^3$ dan mempunyai kekuatan berkisar $7 - 14 \text{ MPa}$.
- Beton ringan yang diperoleh dengan memasukkan udara dalam adukan atau mortar (beton aerasi), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran $0,1 - 1 \text{ mm}$. 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 Busa

D.1. Semen Portland Komposit

Semen *portland* komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain.

Tabel 1. Syarat fisika semen *portland* komposit.

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat <i>blayne</i>	m ² /kg	min. 280
2			
	Kekekalan bentuk dengan autoclave : - Pemuaiian - Penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vikat : - Pengikatan awal - Pengikatan akhir	menit menit	min. 45 maks. 375
4	Kuat tekan : - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari	kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	min. 125 min. 200 min. 250
5	Pengikatan semu : - Penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

(sumber: SNI 15-7064-2004)

Semen PCC atau *Portland Composite Cement*

atau Semen Portland Composite, adalah semen Portland yang masuk kedalam kategori *Blended Cement* atau

semen campur.

Semen campur ini dibuat atau didesign karena dibutuhkannya sifat-sifat tertentu yang mana sifat tersebut tidak dimiliki oleh semen portland tipe I. Untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada semen campur maka pada proses pembuatannya ditambahkan bahan aditif seperti Pozzolan, Fly ash, silica fume dll.

D.2. Standar Semen berdasarkan ASTM C 150 - 07

Jenis dan penggunaan semen Portland berdasarkan ASTM C 150 – 07 adalah sebagai berikut :

- I. Jenis I, untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
- II. Jenis IA, Semen *Air entraining* digunakan sama seperti jenis I, dimana memerlukan *Air entraining*.
- III. Jenis II, untuk penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- IV. Jenis IIA, Semen *Air entraining* digunakan sama seperti jenis II, dimana memerlukan *Air entraining*.
- V. Jenis III, untuk penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

- VI. Jenis IIIA, Semen *Air entraining* digunakan sama seperti jenis III, dimana memerlukan *Air entraining*.
- VII. Jenis IV, untuk penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- VIII. Jenis V, untuk penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Tabel 2. Standar Persyaratan Komposisi

Jenis Semen	I dan IA	II dan IIA	III dan IIIA	IV	V
Aluminium oksida (Al_2O_3), Max,%	...	6.0	...	...	...
Besi oksida (Fe_2O_3), Max,%	...	6.0 ^{B, C}	...	6.5	...
Magnesium oksida (MgO), max,%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Sulfur trioksida (SO_3), ^D max,%					
Ketika (C_3A) ^E adalah 8% atau kurang	3.0	3.0	3,5	2.3	2.3
Ketika (C_3A) ^E lebih dari 8%	3,5	F	4,5	F	F
Hilang pijar, max,%	3.0	3.0	3.0	2,5	3.0
Bagian tak larut, max,%	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Trikalsium silikat (C_3S) ^E , Max,%	...	...	...	35 ^B	...
Dikalsium silikat (C_2S) ^E , Min,%	...	...	...	40 ^B	...
Trikalsium aluminat (C_3A) ^E , Max,%	...	8	15	7 ^B	5 ^C
Sum dari $C_3S + 4.75C_3A$ ^G , Max,%	...	100 ^H	...	...	...
Tetrakalsium aluminoferrite ditambah dua kali aluminat trikalium ($C_4AF + 2(C_3A)$),					
atau larutan padat ($C_4AF + C_2F$), sebagaimana berlaku, max,%	...	...	...	...	25 ^C

Sumber : ASTM C 150 – 07

^ALihat Catatan 2.

^BTidak berlaku ketika panas dari batas hidrasi di tabel 4 ditentukan.

^CTidak berlaku ketika batas resistance sulfat di tabel 4 ditentukan.

^DAda kasus di mana optimal SO₃(Menggunakan Metode Uji C 563) Untuk semen tertentu dekat atau lebih dari batas dalam spesifikasi ini. Dalam kasus seperti di mana sifat-sifat semen dapat ditingkatkan dengan melebihi SO₃ batas yang tercantum dalam tabel ini, diperbolehkan untuk melebihi nilai dalam tabel, asalkan telah dibuktikan oleh Test Metode C 1038 bahwa semen dengan meningkatnya SO₃ tidak akan berkembang ekspansi dalam air melebihi 0,020% pada 14 hari. Ketika produsen memasok semen di bawah ketentuan ini, ia akan, atas permintaan, pasokan data pendukung kepada pembeli.

^ELihat Lampiran A1 untuk perhitungan.

^FTak dapat diterapkan.

^GLihat Catatan 4.

^HSelain itu, 7-hari panas pengujian hidrasi oleh Test Metode C 186 dilakukan setidaknya sekali setiap enam bulan. pengujian tersebut tidak boleh digunakan untuk penerimaan atau penolakan dari semen, tapi hasil harus dilaporkan untuk tujuan informasi

Tabel 3. Persyaratan Komposisi Opsional^A

Jenis semen	I dan IA	II dan IIA	III dan IIIA	IV	V	Keterangan
Trikalsium aluminat (C ₃ A) ^B , Max,%	...	...	8	...	...	untuk ketahanan sulfat moderat
Trikalsium aluminat (C ₃ A) ^B , Max,%	...	...	5	...	...	untuk ketahanan sulfat tinggi
alkali setara (Na ₂ O + 0.658K ₂ O), max,%	0. 60 ^C	0.60 ^C	0.60 ^C	0.60 ^C	0.60 ^C	rendah-alkali semen

Sumber : ASTM C 150 – 07

^APersyaratan opsional hanya berlaku ketika secara khusus meminta.

Memverifikasi ketersediaan sebelum memesan. Lihat Catatan 2.

^BLihat Lampiran A1 untuk perhitungan.

^CTentukan batas ini ketika semen yang akan digunakan dalam beton dengan agregat yang berpotensi reaktif dan tidak ada ketentuan lain telah dilakukan untuk melindungi beton dari agregat deleteriously reaktif. Mengacu pada spesifikasi C 33 untuk informasi potensi reaktivitas agregat.

Tabel 4. Persyaratan Fisika Standar

Jenis Semen ^A	I	IA	II	IIA	III	IIIA	IV	V
konten Air mortar, ^B Volume%:								
max	12	22	12	22	12	22	12	12
min	...	16	...	16	...	16	...	...
Kehalusan, ^C permukaan spesifik, m ² / Kg (metode alternatif):								
tes Turbidimeter								
Nilai rata-rata, min ^D	160	160	160	160	...	...	160	160
Setiap satu sampel, min ^E	150	150	150	150	...	...	150	150
Nilai rata-rata, max ^D	...	...	240 ^F	240 ^F	...	...	240	...
Setiap satu sampel, max ^E	...	...	245 ^F	245 ^F	...	...	245	...
uji permeabilitas udara								
Nilai rata-rata, min ^D	280	280	280	280	...	...	280	280
Setiap satu sampel, min ^E	260	260	260	260	...	...	260	260
Nilai rata-rata, max ^D	...	...	420 ^F	420 ^F	...	...	420	...
Setiap satu sampel, max ^E	...	...	430 ^F	430 ^F	...	...	430	...
ekspansi autoclave, max,%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1 hari	...	...	...	...	12.0 (1740)	10,0 (1450)	...	...

Sumber : ASTM C 150 – 07

^ALihat Catatan 2.

^BKepatuhan dengan persyaratan spesifikasi ini tidak menjamin bahwa konten udara yang diinginkan akan diperoleh dalam beton.

^CLaboratorium pengujian harus memilih metode kehalusan yang akan digunakan. Namun, ketika sampel tidak memenuhi persyaratan uji udara permeabilitas, Turbidimeter yang tes akan digunakan, dan persyaratan dalam tabel ini untuk metode turbidimetri akan mengatur.

^D Nilai rata-rata harus ditentukan pada lima sampel terakhir berturut-turut dari sumber.

D.3. 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.4. 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.5. 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.6. Bahan Tambah

Menurut SNI 03-2495-1991, bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.

Ketentuan dan syarat mutu bahan tambahan kimia sesuai dengan ASTM C 494-81 "Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete". Definisi type dan jenis bahan tambahan kimia tersebut dapat diterangkan sebagai berikut :

- a. Tipe A : *Water Reducing Admixture*, adalah bahan tambahan yang bersifat mengurangi jumlah air pencampuran beton untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu.
- b. Tipe B : *Retarding Admixture*, adalah bahan tambahan yang berfungsi menghambat pengikatan beton.
- c. Tipe C : *Accelerating Admixture*, adalah bahan tambahan berfungsi mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
- d. Tipe D : *Water Reducing and Retarding Admixture*, adalah bahan tambahan berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan beton.

- e. Tipe E : *Water Reducing and Accelerating Admixture*, adalah bahan tambahan berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan beton.
- f. Tipe F : *Water Reducing and High Range Admixture*, adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12%.
- g. Tipe G : *Water Reducing, High Range and Retarding Admixture*, adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih dan juga menghambat pengikatan beton.

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/m³)

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 N/mm^2) sampai 6000 psi (41.368 N/mm^2), dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 300 psi (2.068 N/mm^2) sampai 10000 psi (68.947 N/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. Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton ringan dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari dengan menggunakan silinder 100 mm x 200 mm masing-masing sebanyak 3 sampel. Pada pengujian tarik belah pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2491-2012. Kuat tarik belah dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$

f'_{ct} = Kuat tarik belah (N/mm²)

P = Beban maksimum (N)

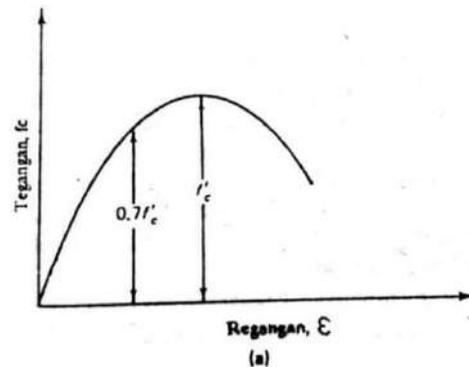
L = Panjang benda uji silinder (mm)

D = Diameter benda uji silinder (mm)

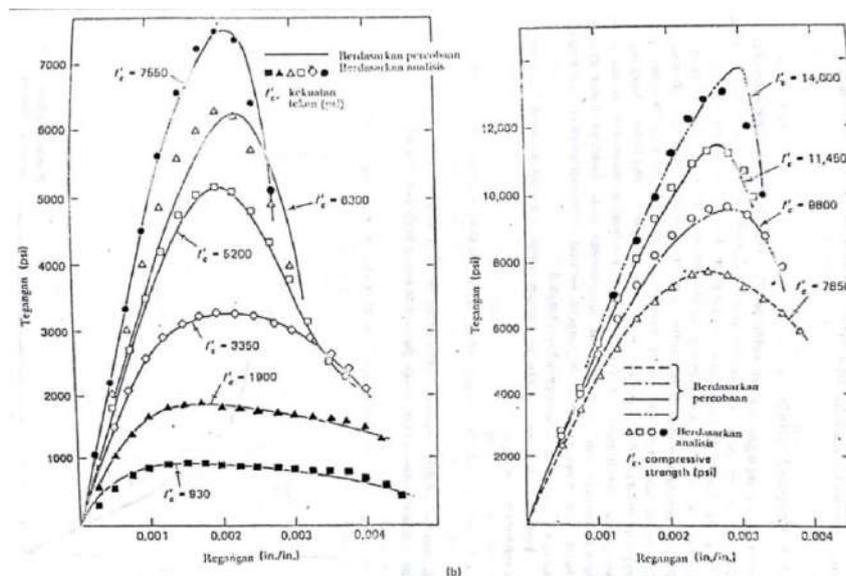
E.5. Kurva Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga

prosedur-prosedur pada struktur beton. Gambar 1. 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 ketidaklinieran 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 2. 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. Poission Ratio

Ketika sebuah silinder beton menerima beban tekan atau beban tarik, silinder tersebut tidak hanya berkurang atau bertambah tingginya tetapi juga mengalami ekspansi (pemuaihan) dalam arah horizontal yaitu kontraksi tegak lurus arah beban. Regangan horizontal disetiap titik pada setiap titik pada suatu batang sebanding dengan regangan vertikal di titik tersebut jika bahannya elastis linear. Bahan yang mempunyai besaran sama dalam semua arah disebut isotropik. Jika besarannya berbeda, maka disebut anisotropik.

E.7. Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah

Korelasi antara kuat tekan dan kuat tarik belah dapat dihitung dengan menggunakan metode *curve fitting* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^3 (aX_i - Y_i \cdot \sqrt{X_i}) = 0$$

Dimana:

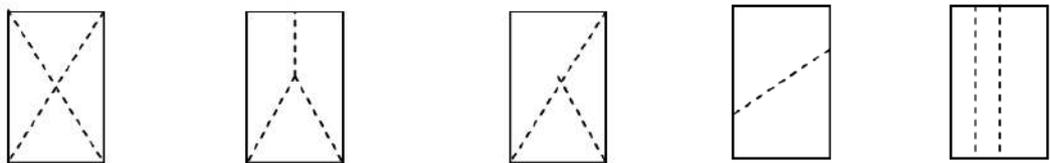
X_i = Kuat Tekan Beton Sampel ke-i

Y_i = Kuat Tarik Belah Beton Sampel ke-i

a = Faktor Korelasi antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik belah

E.8. 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)

Pada penelitian ini pola retak yang terjadi pada benda uji yakni sejajar sumbu tegak (kolumnar).