

**PENGARUH JENIS AIR RENDAMAN TERHADAP
KUAT TEKAN MORTAR BUSA SEBAGAI
PENGGANTI TIMBUNAN PADA
KONSTRUKSI JALAN**

Tesis

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Dalam Mencapai Derajat Magister
Teknik

Oleh :
_

Yuni Wijiastuti

NPM. 173121005

Diajukan kepada :

PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2019

Tesis

**PENGARUH JENIS AIR RENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN
MORTAR BUSA SEBAGAI PENGGANTI TIMBUNAN PADA
KONSTRUKSI JALAN**


Yang telah dipersiapkan dan disusun oleh

Yuni Wijiastuti
NPM. 173121005

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada tanggal 6 April 2019

Dewan Penguji :


Pembimbing Utama,


Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT

Tim Penguji Lain,


Dr. Anas Puri, ST., MT.

Pembimbing Pendamping,


Dr. Elizar, ST., MT

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Teknik



Dr. Anas Puri, ST., MT.
Ketua Program Magister Teknik Sipil
Universitas Islam Riau

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis

**PENGARUH JENIS AIR RENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN
MORTAR BUSA SEBAGAI PENGGANTI TIMBUNAN PADA
KONSTRUKSI JALAN**


Yang telah dipersiapkan dan disusun oleh

Yuni Wijastuti
NPM. 173121005

Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Kajian : Geoteknik dan Jalan Raya

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 06 April 2019
Dan dinyatakan LULUS

DEWAN PENGUJI
Ketua Penguji


Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT

Anggota Penguji I


Dr. Elizar, ST., MT.

Anggota Penguji II


Dr. Anas Puri, ST., MT.

Mengetahui
Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Islam Riau




Dr. Ir. Saipul Bahri, M.Ec.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, April 2019

YUNI WJIASTUTI



PRAKATA

Segala Puji ke hadirat Allah SWT atas Rahmat, Nikmat dan Taufiknya, sehingga dapat diselesaikannya tesis yang berjudul “Pengaruh Jenis Air Rendaman Terhadap Kuat Tekan Mortar Busa Sebagai Pengganti Timbunan Pada Konstruksi Jalan”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat magister teknik di Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar apabila tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Saipul Bahri., M.Ec. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.
2. Dr. Anas Puri, ST., MT. selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau yang telah memberikan izin melakukan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT. selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan pada penyusunan tesis ini.
4. Dr. Elizar, ST., MT. selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan pada penyusunan tesis ini.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyusunan dan penyelesaian tesis ini.

Penulis sangat menyadari bahwa di dalam tesis ini masih banyak dijumpai kekurangan. Segala saran dan kritik membangun dari para penelaah sangat bermanfaat untuk penyempurnaannya.

Pekanbaru, April 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Keaslian Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Perkerasan Jalan	11

3.2	Mortar.....	14
3.3	Mortar Busa	15
3.4	Material Penyusun Mortar Busa	16
3.4.1	Semen	17
3.4.2	Pasir	18
3.4.3	Air	21
3.4.4	Cairan Busa (<i>Foam Agent</i>)	22
3.5	Pengujian Mortar Busa	23
3.6	Kuat Tekan Mortar Busa	24
3.7	Perawatan (<i>Curing</i>) Mortar Busa	26
3.8	Modulus Elastisitas	27
3.9	Kandungan Mineral dalam Air Rendaman	28
BAB IV	METODE PENELITIAN	31
4.1	Umum	31
4.2	Lokasi Penelitian	31
4.3	Bahan atau Materi Penelitian	32
4.4	Peralatan yang Digunakan	32
4.5	Benda Uji	34
4.6	Tahapan Penelitian	35
4.7	Prosedur Penelitian	43
4.7.1	Pengujian Nilai <i>Flow</i>	43
4.7.2	Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCS)	43

BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	45
5.1	Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Material	45
5.1.1	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	45
5.1.2	Hasil Pemeriksaan PH Air	47
5.2	Rancangan Campuran Mortar Busa	48
5.3	Hasil Pengujian Nilai <i>Flow</i>	48
5.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa	49
5.5	Hubungan Antara Kuat Tekan Bebas Mortar Busa dan Umur Rendaman	56
5.6	Perbandingan Nilai PH Air Rendaman dengan Nilai Kuat Tekan Bebas Mortar Busa	61
5.7	Hubungan Antara Jenis Metode Perawatan dengan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa	63
5.8	Modulus Elastisitas Mortar Busa	63
5.8.1	Modulus Elastisitas Mortar Busa Berdasarkan Analitis Tegangan dan Regangan (Hukum Hooke)	64
5.8.2	Modulus Elastisitas Mortar Busa Berdasarkan Rumus Empiris	65
5.8.3	Modulus Elastisitas Mortar Busa Dengan Metode Grafis	67
5.8.4	Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas antara	

Metode Analitis, Empiris dan Grafis	72
5.9 Pembahasan Hasil Penelitian	73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	78
6.1 Kesimpulan	78
6.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
 Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Distribusi tegangan akibat beban roda pada perkerasan jalan (Hardiyatmo, 2011)	12
Gambar 3.2	Tipikal Konstruksi Jalan Dengan Menggunakan Mortar Busa Sebagai Lapis Fondasi (PUPR, 2015)	14
Gambar 3.3	Gradasi agregat halus (pasir) untuk mortar busa (PUPR, 2015)	19
Gambar 4.1	Peralatan yang digunakan dalam penelitian	33
Gambar 4.2	Benda uji mortar busa	34
Gambar 4.3	Pembuatan campuran mortar busa	36
Gambar 4.4	Pengujian nilai <i>flow</i>	36
Gambar 4.5	Pencetakan benda uji	37
Gambar 4.6	Perawatan (<i>curing</i>) benda uji mortar busa	38
Gambar 4.7	Perendaman benda uji	39
Gambar 4.8	Pengujian kuat tekan bebas (UCS)	40
Gambar 4.9	Bagan alir penelitian	42
Gambar 5.1	Gradasi agregat halus <i>quari</i> Danau Bingkuang	47
Gambar 5.2	Hasil pengujian kuat tekan mortar busa pada rendaman 7 hari	50
Gambar 5.3	Hasil pengujian kuat tekan mortar busa pada rendaman 14 hari	51

Gambar 5.4	Hasil pengujian kuat tekan mortar busa pada rendaman 21 hari	53
Gambar 5.5	Hasil pengujian kuat tekan mortar busa pada rendaman 28 hari	54
Gambar 5.6	Hasil pengujian kuat tekan mortar busa pada rendaman 35 hari	55
Gambar 5.7	Grafik hubungan kuat tekan bebas mortar busa dan lama waktu perendaman untuk jenis perawatan dibungkus plastik .	58
Gambar 5.8	Grafik hubungan kuat tekan bebas mortar busa dan lama waktu perendaman untuk jenis perawatan direndam air bersih	60
Gambar 5.9	Grafik perbandingan nilai PH air rendaman dengan nilai kuat tekan bebas mortar busa pada perendaman 35 hari	62
Gambar 5.10	Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada perendaman 35 hari (Hukum Hooke)	65
Gambar 5.11	Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada perendaman 35 hari (SK SNI T-15 1991-03)	66
Gambar 5.12	Metode grafis Eurocode 2-1992	68
Gambar 5.13	Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu rendaman 35 hari (Eurocode 2-1992)	69
Gambar 5.14	Metode grafis ASTM 469	70
Gambar 5.15	Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu rendaman 35 hari (ASTM 469)	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Kriteria desain mortar busa untuk timbunan jalan (PUPR, 2015)	16
Tabel 3.2	Gradasi agregat halus untuk mortar busa (PUPR, 2015)	19
Tabel 5.1	Hasil pemeriksaan agregat halus (<i>quary</i> Danau Bingkuang)	45
Tabel 5.2	Hasil pemeriksaan Analisa Saringan Presentase Lolos Agregat Halus	46
Tabel 5.3	Hasil pengujian PH air	47
Tabel 5.4	Komposisi material untuk 1m ³ mortar busa untuk kuat tekan rencana 800 kPa	48
Tabel 5.5	Hasil pengujian nilai <i>flow</i>	49
Tabel 5.6	Nilai kuat tekan rata-rata mortar busa pada rendaman 7 hari	49
Tabel 5.7	Nilai kuat tekan rata-rata mortar busa pada rendaman 14 hari	51
Tabel 5.8	Nilai kuat tekan rata-rata mortar busa pada rendaman 21 hari	52
Tabel 5.9	Nilai kuat tekan rata-rata mortar busa pada rendaman 28 hari	54
Tabel 5.10	Nilai kuat tekan rata-rata mortar busa pada rendaman 35 hari	55

Tabel 5.11	Hubungan umur benda uji dan lama waktu perendaman terhadap kuat tekan rata-rata untuk jenis perawatan dibungkus plastik	57
Tabel 5.12	Hubungan umur benda uji dan lama waktu perendaman terhadap kuat tekan rata-rata untuk jenis perawatan direndam air bersih	59
Tabel 5.13	Perbandingan nilai PH air dengan nilai kuat tekan bebas mortar busa	61
Tabel 5.14	Hubungan jenis metode perawatan dengan kuat tekan bebas mortar busa	63
Tabel 5.15	Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan Hukum Hooke ...	64
Tabel 5.16	Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan SK SNI T-15 1991-03	66
Tabel 5.17	Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan metode Eurocode 2-1992	69
Tabel 5.18	Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan metode ASTM 469	71
Tabel 5.19	Perbandingan nilai modulus elastisitas mortar busa antara metode analitis, empiris dan grafis	73
Tabel 5.20	Rangkuman hasil penelitian	74
Tabel 5.21	Penurunan kuat tekan bebas mortar busa pada lama waktu rendaman 7 hari	75



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN - 1 FOTO-FOTO DOKUMENTASI
- LAMPIRAN - 2 SERTIFIKAT KALIBRASI ALAT
- LAMPIRAN - 3 HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BEBAS
- LAMPIRAN - 4 HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BEBAS (DATA SEKUNDER)



PENGARUH JENIS AIR RENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR BUSA SEBAGAI PENGGANTI TIMBUNAN PADA KONSTRUKSI JALAN

ABSTRAK

Salah satu kendala dalam pembangunan infrastruktur jalan di Provinsi Riau adalah kondisi tanah yang sebagian besar berupa tanah lunak dan gambut yang memiliki kuat dukung yang rendah. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan saat ini adalah penggunaan mortar busa sebagai alternatif pengganti bahan timbunan tanah dalam konstruksi jalan. Mortar busa sebagai pengganti timbunan yang berfungsi sebagai pondasi jalan baik pondasi atas (*base*) maupun pondasi bawah (*sub base*) berada di bawah lapisan perkerasan sehingga akan berpotensi tergenang air pada waktu dan kondisi tertentu, sehingga ada kemungkinan akan berpengaruh pada kuat tekan mortar busa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis air rendaman terhadap kuat tekan mortar busa, pengaruh durasi perendaman dan jenis perawatan terhadap kuat tekan mortar busa, serta pengaruh air rendaman terhadap modulus elastisitas mortar busa pada umur rendaman 35 hari. Penelitian ini berupa eksperimen di laboratorium dengan benda uji mortar busa berbentuk silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Benda uji ini direndam dengan 4 jenis air yaitu air bersih, air hujan, air gambut dan air laut, kemudian diuji kekuatan tekannya setelah perendaman selama 7, 14, 21, 28 dan 35 hari. Sebelum dilakukan perendaman benda uji terlebih dahulu dirawat selama 14 hari dengan 2 metode perawatan yaitu perawatan dibungkus plastik dan perawatan dengan perendaman air bersih.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada mortar busa dengan rendaman air hujan selama 35 hari dengan perawatan dibungkus plastik memiliki nilai kuat tekan bebas tertinggi jika dibandingkan dengan rendaman air yang lain dan umur rendaman yang lebih rendah yaitu 12,33 kg/cm². Pada umur rendaman 7 hari terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas mortar busa pada semua jenis air rendaman apabila dibandingkan dengan kuat tekan bebas sebelum direndam, penurunan tertinggi terjadi pada rendaman air hujan (perawatan direndam air bersih) sebesar 58,38%, sedangkan penurunan kuat tekan terkecil terjadi pada rendaman air gambut (perawatan dibungkus plastik) sebesar 27,85%. Perawatan dengan dibungkus plastik menghasilkan penurunan nilai kuat tekan bebas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis perawatan direndam air bersih. Modulus elastisitas tertinggi mortar busa pada perendaman 35 hari berdasarkan analisa tegangan-regangan terjadi pada rendaman air bersih (perawatan dibungkus plastik) senilai 485,50 Mpa, nilainya tidak jauh berbeda dengan nilai modulus elastisitas berdasarkan metode grafis yaitu 519,87 Mpa (Eurocode 2-1992) dan 497,71 (ASTM 469). Nilai modulus elastisitas tertinggi berdasarkan kedua metode grafis ini terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan dibungkus plastik.

Kata kunci : mortar busa, kuat tekan bebas, air rendaman, modulus elastisitas

ABSTRACT

One of the problems in road construction in Riau Province is the condition of land which is mostly consist of soft soil and peat which has a low supporting strength. Foam mortar is one of the technologies being developed as an alternative to substitute soil embankment in road construction. Mortar foam as a substitute for embankment for base course and sub base course is under the pavement layer so that it will potentially be soaked at certain times and certain conditions, so there is a possibility of influencing the foam mortar compressive strength.

The purposed of this research are to determine the effect of soaking water types on foam mortar compressive strength, to determine the effect of soaked duration and curing type on foam mortar compressive strength, and to determine the effect of soaked water types on elastic modulus of foam mortar at 35 days of soaking. This research is an experimental in the laboratory with cylindrical foam mortar specimens (diameter 100 mm, height 200 mm). The specimens were soaked with 4 types of water, namely clean water, rainwater, peat water and sea water, then tested their compressive strength after soaking for 7, 14, 21, 28 and 35 days. The specimen was cured for 14 days before soaking. The type of curing are wrapped in plastic and soaked in clean water.

The results showed that the foam mortar which soaked by rain water for 35 days with plastic-wrapped curing had the highest unconfined compressive strength value than the other water soaked and a lower soaked duration, that is 12.33 kg/cm². At 7 days immersion duration there was a decrease in foam mortar compressive strength in all types of soaking water when compared with free compressive strength before soaking. The highest decrease occurred in rainwater soaked (soaked in clean water curing) of 58.38%, while the lowest decrease in occurred in peat water soaked (wrapped in plastic curing) of 27.85%. Plastic wrap curing results a lower value of decrease compressive strength than the soaked in clean water curing. The highest elastic modulus at 35 days immersion based on stress-strain analysis occurred at 485.50 Mpa was on clean water soaked (soaked in clean water curing), the value was not much different from the elastic modulus based on the graphical method of 519.87 Mpa (Eurocode 2- 1992) and 497.71 (ASTM 469). The highest modulus of elasticity based on these two graphical methods occurs in rainwater soaked with curing by plastic wrapped. The highest elastic modulus based on these two graphical methods occurs in rainwater soaked with plastic wrapped curing.

Keywords : foam mortar, unconfined compressive strength, soaked water, elastic modulus

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting dalam kegiatan ekonomi, politik, sosial budaya, dan lingkungan. Pembangunan dan pengembangan jalan dilaksanakan berdasarkan pendekatan pengembangan wilayah dengan tujuan untuk mencapai pemerataan pembangunan antar daerah serta memperkuat persatuan dan kesatuan nasional dalam rangka memperkuat pertahanan dan keamanan nasional.

Pembangunan jalan khususnya di Provinsi Riau seringkali dihadapkan dengan berbagai kendala. Salah satu kendala adalah kondisi tanah yang sebagian besar merupakan tanah lunak dan gambut. Jenis tanah ini memiliki kuat dukung yang rendah sehingga sangat rentan terhadap kestabilan konstruksi dan penurunan (*settlement*) yang diakibatkan oleh berat sendiri timbunan maupun beban lalu lintas di atasnya (Iqbal, 2012). Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu dilakukan inovasi dalam pembangunan jalan di atas tanah lunak atau gambut.

Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan saat ini adalah penggunaan mortar busa sebagai alternatif pengganti bahan timbunan tanah dalam konstruksi jalan. Sebagai pengganti tanah timbunan, mortar busa memiliki berat yang ringan, mudah dalam pelaksanaan karena tidak perlu dilakukan pemadatan, memiliki kuat tekan yang cukup tinggi dan

waktu pelaksanaan yang relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan timbunan konvensional (Atamini dan Moestofa, 2018).

Mortar busa sebagai pengganti timbunan yang berfungsi sebagai pondasi jalan baik pondasi atas (*base*) maupun pondasi bawah (*sub base*) berada di bawah lapisan perkerasan sehingga akan berpotensi tergenang air pada waktu dan kondisi tertentu. Misalnya pada musim penghujan, mortar busa akan berpotensi tergenang air hujan, jalan di daerah pantai akan berpotensi tergenang oleh air laut, sedangkan jalan pada daerah rawa akan berpotensi tergenang air gambut, sehingga ada kemungkinan akan berpengaruh pada kuat tekan mortar busa.

Berdasarkan uraian tersebut di atas maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh jenis air rendaman terhadap kuat tekan mortar busa sebagai pengganti timbunan pada konstruksi jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan sebelumnya maka perlu dilakukan penelitian dengan pengujian laboratorium tentang :

1. Bagaimana pengaruh jenis air rendaman terhadap nilai kuat tekan mortar busa ?
2. Bagaimana pengaruh lama waktu perendaman terhadap nilai kuat tekan mortar busa ?
3. Bagaimana perbandingan nilai kuat tekan mortar busa dengan 2 jenis metode perawatan yang berbeda ?

4. Bagaimana pengaruh jenis air rendaman terhadap modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu perendaman 35 hari ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh jenis air rendaman terhadap nilai kuat tekan mortar busa.
2. Mengetahui pengaruh lama waktu perendaman terhadap nilai kuat tekan mortar busa.
3. Mengetahui perbandingan nilai kuat tekan mortar busa dengan 2 jenis metode perawatan yang berbeda.
4. Mengetahui pengaruh jenis air rendaman terhadap modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu perendaman 35 hari.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi dengan maksud agar dapat fokus pada masalah yang ingin diangkat dan tujuan yang ingin dicapai. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian ini tidak mengkaji sifat sifat kimia maupun mekanis dari material penyusun mortar busa.
2. Perawatan benda uji dengan cara dibungkus plastik dan dengan cara direndam air bersih.

3. Jenis air yang digunakan untuk merendam benda uji setelah proses perawatan adalah air bersih, air hujan, air gambut dan air laut.
4. Penelitian ini hanya mengkaji sifat kimia air rendaman berdasarkan nilai PH.
5. Penelitian ini tidak mengkaji nilai ekonomis jika diterapkan di lapangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

- 1 Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai mortar busa, khususnya tentang pengaruh jenis air rendaman dan metode perawatan terhadap kuat tekan mortar busa.
- 2 Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan acuan bagi pemerintah maupun pelaku jasa konstruksi tentang sejauh mana pengaruh kondisi lingkungan khususnya air rendaman terhadap kuat tekan mortar busa sebagai bahan pengganti timbunan pada konstruksi jalan.
- 3 Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian-penelitian sejenis di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini menggunakan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan mortar busa.

Atamini dan Moestofa (2018), Evaluasi Stabilitas dan Penurunan Antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan Pada Oprit Jembatan (Studi Kasus : Flyover Antapani, Kota Bandung). Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi perilaku dan kinerja deformasi stabilitas dan penurunan timbunan ringan mortar busa dibandingkan dengan timbunan pilihan tanah merah laterit. Analisis stabilitas dan penurunan pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan timbunan ringan (mortar busa) dan timbunan pilihan (tanah merah laterit) menggunakan perangkat lunak Plaxis Professional 8.6 berdasarkan metode elemen hingga. Penelitian ini menggunakan model Mohr-Coulomb untuk timbunan pilihan, sedangkan model Elastisitas Linier untuk timbunan ringan. Dari hasil analisis diperoleh nilai penurunan sebesar 3,53 dan faktor keamanan (SF) 2,74 untuk timbunan ringan mortar busa, sedangkan untuk timbunan pilihan nilai penurunan yang terjadi adalah sebesar 13,79 cm dan faktor keamanan (SF) 1,36. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan timbunan ringan di atas tanah lunak akan menghasilkan penurunan lebih kecil (<74,40%) dengan faktor keamanan lebih besar (>50,36%) dibandingkan dengan timbunan pilihan.

Fadilah dan Hamdhan (2017), Analisis Stabilitas dan Penurunan Pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis stabilitas dan penurunan pada timbunan yang menggunakan mortar busa di dua lokasi, yaitu oprit jembatan Kedaton Kota Cirebon – Jawa Barat dan di ruas badan jalan Pangkalan Bun – Kalimantan tengah. Analisis dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dengan bantuan program Plaxis 2D AE dengan 3 (tiga) model tanah yang berbeda yaitu *Soft Soil*, *Mohr Coulomb*, dan *Hardening Soil*. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa penggunaan material ringan berupa mortar busa mampu mengurangi besarnya penurunan selama konsolidasi berlangsung dibandingkan dengan timbunan biasa. Dari segi stabilitas, penggunaan timbunan ringan dapat meningkatkan nilai faktor keamanan disebabkan sifat mortar busa yang kaku seperti beton. Pada studi kasus di oprit jembatan, model timbunan biasa penurunan yang terjadi rata-rata 3,34 m dengan nilai faktor keamanan (SF) 1,129 sedangkan timbunan dengan material ringan penurunan yang terjadi hanya sebesar 1 m dengan nilai SF sebesar 3. Pada studi kasus di Pangkalan Bun dengan model timbunan biasa terjadi penurunan sebesar 2,5 m dengan nilai SF sebesar 2,3 sedangkan pada model timbunan ringan penurunan yang terjadi hanya sebesar 1 m dengan nilai SF sebesar 6,1.

Bahari dan Hamdhan (2017), Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) dalam Perencanaan *Flyover* Antapani. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis penurunan seketika yang terjadi pada fondasi di *flyover* Antapani dan penggunaan teknologi CMP pada tanah lunak.

Analisis dilakukan dengan menggunakan program Plaxis 3D yang berbasis metode elemen hingga. Dari hasil analisis didapat kesimpulan bahwa besarnya penurunan pada flyover Antapani dengan kondisi tanah asli maupun kondisi tanah lunak akibat konstruksi dan beban lalu lintas masih memenuhi standar izin penurunan seketika, yaitu berada pada nilai rentang di bawah 25,4 mm. Besar beda penurunan antar titik fondasi terdekat maupun antar abutmen jembatan untuk kedua kondisi model masih dalam rentang yang diizinkan dan tidak membentuk sudut lebih dari 1:300. Besar beda penurunan antar titik abutmen jembatan juga masih memenuhi standar penurunan ijin untuk kedua jenis model yaitu $< 76,2$ mm untuk jarak abutmen $> 30,48$ m.

Hidayat dkk (2016), Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa pada Konstruksi Timbunan Jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh perbandingan deformasi pada tanah dasar akibat beban timbunan konvensional dan timbunan ringan. Penelitian dilakukan dengan cara analisis menggunakan Plaxis, yaitu analisis deformasi pada timbunan dengan menggunakan mortar busa dan kemudian hasilnya dibandingkan dengan timbunan konvensional. Material timbunan dengan mortar busa dimodelkan dengan kriteria *Linear Elastic* sedangkan material timbunan konvensional dimodelkan dengan kriteria *Mohr Coulomb*. Analisis dilakukan dengan asumsi pembebanan untuk 2 (dua) kondisi, yaitu beban merata sebesar 15 kPa dan beban terpusat (beban gandar belakang truk standar) sebesar 112,5 kN. Hasil analisis menunjukkan bahwa timbunan dengan mortar busa menghasilkan nilai deformasi tanah dasar yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan timbunan konvensional. Penurunan pada tanah dasar

apabila menggunakan timbunan mortar busa hanya sebesar 39,9 mm akibat beban merata dan 98,3 mm akibat beban terpusat, namun apabila menggunakan timbunan konvensional penurunan tanah dasarnya sebesar 6810 mm.

Iqbal (2012), *Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar busa*. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja timbunan ringan dengan mortar busa pada uji coba skala penuh di Kedaton (Cirebon, Jawa Barat) dan di Pangkalan Bun (Kalimantan Tengah). Evaluasi kinerja dilakukan melalui pemodelan numerik yang diverifikasi dengan hasil monitoring dari instrumen terpasang. Untuk menilai kinerja timbunan, hasil analisis numerik dan monitoring dibandingkan dengan kriteria timbunan menurut Kimpraswil (2002b) dan SCDOT (2008). Pada oprit jembatan Kedaton disimpulkan bahwa timbunan ringan dengan mortar busa pada oprit Jembatan memenuhi kriteria stabilitas dan deformasi. Faktor keamanan timbunan diprediksi sebesar 2.47, sedangkan menurut persyaratan Kimpraswil (2002b) minimal sebesar 1.4. Penurunan yang terjadi pada oprit dengan timbunan ringan tersebut memenuhi syarat deformasi dari kedua pedoman tersebut baik dari segi penurunan diferensial maupun kecepatan penurunan pasca konstruksi. timbunan ringan dengan mortar busa di Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah memberikan kinerja yang memenuhi kriteria stabilitas menurut Kimpraswil (2002b). Dari segi kriteria deformasi, konstruksi uji coba skala penuh ini tidak memenuhi syarat dari Kimpraswil (2002b). Kimpraswil (2002b) mensyaratkan kecepatan penurunan saat konstruksi minimal harus mencapai 90% dan penurunan pasca konstruksi maksimal sebesar 20 mm/tahun. Akan tetapi, penurunan selama masa konstruksi diprediksi hanya mencapai 21%.

Samsuhadi dan Yopi (2013), Studi Penentuan Desain Campuran Material Ringan dengan Mortar Busa pada Oprit Jembatan. Tujuan penelitian ini adalah merancang desain campuran antara mortar dan foam dengan menggunakan material yang sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Metode yang dilakukan adalah metode eksperimental di laboratorium. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa sampel-sampel yang dipersiapkan untuk target desain kuat tekan 800 KPa hanya memiliki kuat tekan 745 KPa dengan densitas 0,6 t/m³ dan sampel-sampel yang dipersiapkan untuk target desain kuat tekan 2000 KPa hanya memiliki kuat tekan 1899 KPa dengan densitas 0,843 t/m³.

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya yang diuraikan pada sub bab 2.1 merupakan penelitian yang bertujuan menganalisa dan mengevaluasi nilai stabilitas dan deformasi yang terjadi pada tanah dasar akibat beban timbunan ringan mortar busa dan timbunan konvensional dengan menggunakan Metode Elemen Hingga maupun pengamatan secara langsung di lapangan. Selain itu terdapat juga penelitian ekperimental di laboratorium yang bertujuan merancang desain campuran mortar dan busa, yakni penelitian Samsuhadi dan Yopi (2013).

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya adalah bahwa penelitian ini merupakan sebuah penelitian eksperimental atau pemodelan empiris yang dilaksanakan di laboratorium untuk memperoleh nilai-nilai variabel yang ingin diketahui yaitu nilai kuat tekan dari mortar busa dengan empat variasi

jenis air rendaman yang berbeda, pada umur rendaman 7, 14, 21, 28 dan 35 hari setelah dilakukan perawatan selama 14 hari dengan dua macam metode perawatan yaitu perawatan dibungkus plastik dan perawatan direndam dengan air bersih.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan suatu struktur yang berfungsi sebagai pelindung tanah dasar (*subgrade*) dan lapisan-lapisan pembentuk perkerasan agar tidak mengalami tegangan dan regangan yang berlebihan akibat beban lalu lintas. Perkerasan merupakan struktur yang diletakkan pada tanah dasar yang memisahkan antara ban kendaraan dengan tanah dasar. Perkerasan harus memberikan permukaan yang rata dengan kekesatan tertentu, dengan umur pelayanan yang cukup panjang, serta pemeliharaan yang minimum (Hardiyatmo, 2011).

Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapis material. Komponen material yang berkualitas tinggi diletakkan di bagian atas, semakin ke bawah kualitas material semakin berkurang karena tegangan akibat beban roda lalu lintas yang disebarkan semakin ke bawah semakin mengecil (Hardiyatmo, 2011).

Secara umum perkerasan jalan tersusun dari tiga lapisan utama, yaitu (Hardiyatmo, 2011):

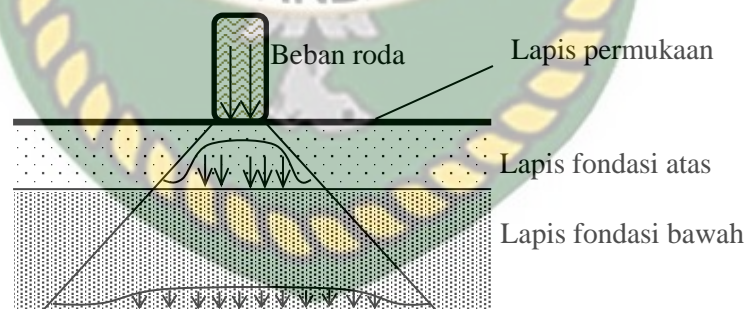
1. Lapis permukaan (*surface course*)
2. Lapis fondasi atas (*base course*)
3. Lapis fondasi bawah (*subbase course*)

Fungsi utama perkerasan adalah menyebarkan beban roda kendaraan ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan dengan luas kontak

antara roda dan perkerasan, sehingga akan mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar, yaitu pada tegangan di mana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan. Secara umum fungsi perkerasan jalan adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 2011):

1. Memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Memberikan permukaan yang rata bagi pengendara.
3. Memberikan kekesatan atau tahanan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan.
4. Mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, sehingga tanah dasar terlindung dari tekanan yang berlebihan.
5. Melindungi tanah dasar dari pengaruh buruk perubahan cuaca.

Distribusi tegangan yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat beban roda kendaraan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



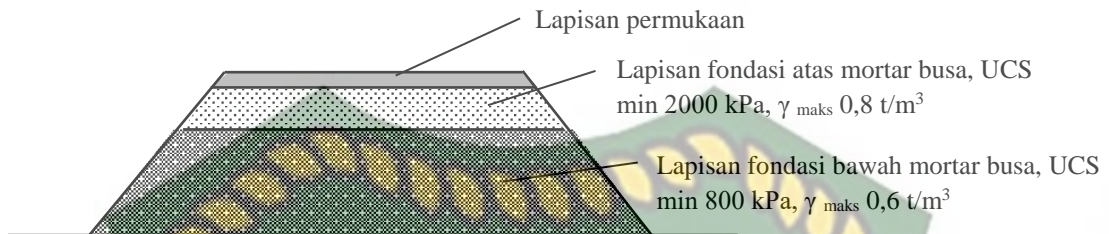
Gambar 3.1 Distribusi tegangan akibat beban roda pada perkerasan jalan (Hardiyatmo, 2011)

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa tegangan terbesar terjadi pada lapisan paling atas dan dengan bertambahnya kedalaman tegangan yang terjadi semakin berkurang.

Adapun komponen-komponen perkerasan jalan terdiri dari (FHWA, 2006) :

1. Lapis aus (*wearing course*), merupakan lapisan yang memberikan cukup kekesatan, tahanan gesek dan penutup kedap air atau drainase air permukaan.
2. Lapis perkerasan terikat atau tersementasi (aspal atau beton) yang memberikan daya dukung yang cukup sekaligus sebagai penghalang air yang masuk ke dalam material tak terikat di bawahnya.
3. Lapis fondasi (*base course*) dan lapis fondasi bawah (*subbase course*) tak terikat yang memberikan tambahan kekuatan (khususnya pada perkerasan lentur) dan juga memberikan ketahanan terhadap pengaruh air yang akan merusak struktur perkerasan serta pengaruh degradasi yang lain (erosi dan intrusi butiran halus).
4. Tanah dasar (*subgrade*) yang memberikan cukup kekakuan, kekuatan yang seragam dan merupakan landasan yang stabil bagi lapisan material perkerasan di atasnya.
5. Sistem drainase yang dapat membuang air dengan cepat dari sistem perkerasan, sebelum air menurunkan kualitas lapisan granuler tak terikat dan tanah dasar.

Dengan menggunakan mortar busa sebagai material pengganti bahan timbunan untuk fondasi jalan, maka susunan lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tipikal konstruksi jalan dengan menggunakan mortar busa sebagai lapis fondasi (PUPR, 2015)

Pada Gambar 3.2 terlihat bahwa mortar busa untuk lapisan fondasi atas harus memiliki nilai kuat tekan minimum 2000 kPa dengan γ_{maks} 0,8 t/m³, sedangkan untuk lapisan fondasi bawah kuat tekan minimum yang disyaratkan adalah 800 kPa dengan γ_{maks} 0,6 t/m³.

3.2 Mortar

Mortar merupakan suatu campuran material yang tersusun dari agregat halus (pasir), air dan bahan perekat (tanah liat, kapur atau semen Portland) dengan komposisi tertentu (SNI, 2002).

Berdasarkan jenis bahan perekatnya, mortar dibedakan menjadi tiga macam, yaitu (SNI, 2002):

1. Mortar lumpur (*mud mortar*), yaitu mortar dengan bahan perekat berupa tanah.
2. Mortar kapur, yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
3. Mortar semen, yaitu mortar dengan bahan perekat berupa semen.

Tipe mortar berdasarkan spesifikasi kekuatan tekan mortar adalah sebagai berikut (SNI, 2002) :

1. Mortar tipe M, yaitu mortar berkekuatan tekan 17,2 MPa yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi yang telah ditentukan.
2. Mortar tipe S, yaitu mortar berkekuatan tekan 12,5 MPa yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe S atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi yang telah ditentukan.
3. Mortar tipe N, yaitu mortar berkekuatan tekan 5,2 MPa yang dibuat menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi yang telah ditentukan.
4. Mortar tipe O, yaitu mortar berkekuatan tekan 2,4 MPa yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi yang telah ditentukan.

3.3 Mortar Busa

Mortar busa adalah material ringan pengganti timbunan yang terbuat dari campuran cairan *foam agent*, semen, pasir, dan air. Mortar busa sebagai bahan pengganti timbunan harus memenuhi spesifikasi sesuai dengan Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria desain mortar busa untuk timbunan jalan (PUPR, 2015)

No	Desain Mix Formula	Kuat Tekan Minimum 14	
		Hari	
		(kPa)	(Kg/cm ²)
1.	Lapis fondasi bawah (<i>subbase course</i>)	800	8
2.	Lapis fondasi atas (<i>base course</i>)	2000	20

Material ringan Mortar busa adalah sememiliki beberapa kriteria sebagai berikut (PUPR, 2015):

1. Memiliki berat yang ringan sehingga nilai kepadatan dari material campuran mortar busa tersebut memiliki nilai densitas 0,5 sampai dengan 1,2 t/m³.
2. Mempunyai nilai *flow* (kekentalan adukan) yang diindikasikan untuk memudahkan pelaksanaan dilapangan. Nilai flow yang disyaratkan pada pedoman geoteknik umumnya berkisar 180 ± 20 mm.
3. Saat pelaksanaan mudah disemprotkan dengan menggunakan alat mesin penyemprot dan dapat memadat sendiri, karena berperilaku seperti mortar beton, dimana material campuran tersebut dapat mengeras sesuai dengan waktu pemeraman (*curing time*) yang ditetapkan.
4. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi.

3.4 Material Penyusun Mortar Busa

Mortar busa tersusun dari empat jenis material, yaitu semen, pasir atau agregat halus, air dan cairan busa (*foam agent*).

3.4.1 Semen

Jenis semen yang digunakan dalam campuran mortar busa adalah Semen Portland, Semen Portland Pozzolan, atau Semen Portland Komposit (PUPR, 2015).

Semen Portland adalah 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 (SNI, 2004).

Semen Portland Pozzolan adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozzolan (SNI, 2004).

Semen Portland Komposit adalah 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. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit (SNI, 2004).

3.4.2 Pasir (Agregat Halus)

Agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolis atau adukan. Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (SK SNI, 1991).

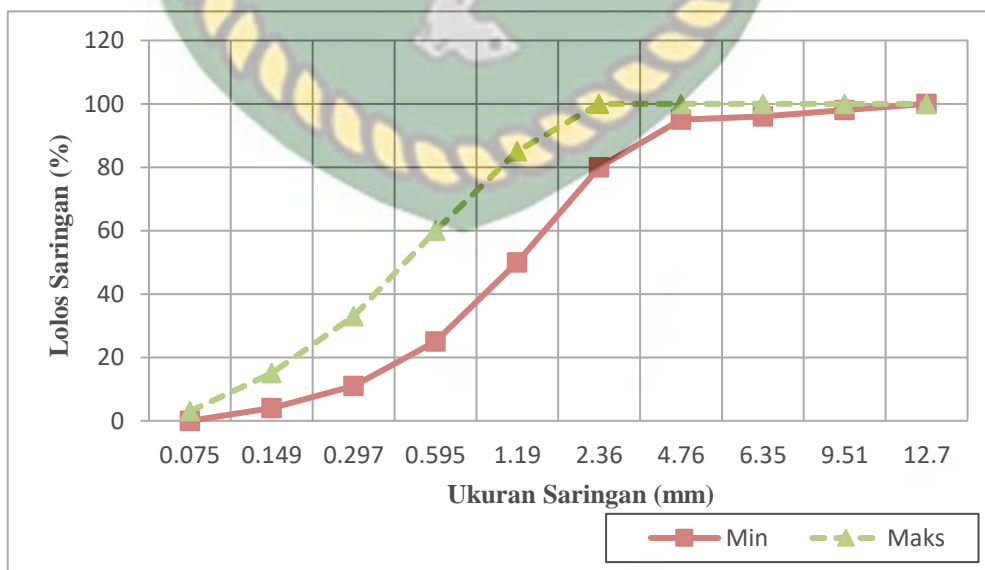
Pasir yang digunakan harus mempunyai butir-butiran yang keras dan awet (*durable*). Pasir tidak boleh mengandung lumpur, tanah liat dan material-material gembur/mudah hancur (*clay lumps and friable particles*) lebih dari 3% (SNI, 1990). Pasir harus bebas dari arang, benda-benda dari kayu serta kotoran-kotoran lainnya yang tidak dikehendaki.

Gradasi pasir yang digunakan sebagai bahan penyusun mortar busa dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Gradasi agregat halus untuk mortar busa (PUPR, 2015)

No.	Ukuran Ayakan (ASTM)		% Berat Lolos Saringan	
	Inci/No.	mm	Minimum	Maksimum
1	½"	12,7	100	100
2	3/8"	9,51	98	100
3	¼"	6,35	96	100
4	No. 4	4,76	95	100
5	No. 8	2,36	80	100
6	No. 16	1,19	50	85
7	No. 30	0,595	25	60
8	No. 50	0,297	11	33
9	No. 100	0,149	4	15
10	No. 200	0,075	0	3

Tabel 3.2 menunjukkan gradasi agregat halus (pasir) yang dapat digunakan sebagai bahan penyusun mortar busa. Gradasi agregat halus (pasir) untuk penyusun mortar busa juga dapat dilihat dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Gradasi agregat halus (pasir) untuk mortar busa (PUPR, 2015)

Gambar 3.3 menunjukkan gradasi agregat halus yang dapat digunakan sebagai bahan penyusun mortar busa adalah agregat halus yang % berat lolos masing-masing saringannya berada diantara batas minimum dan maksimum.

Kandungan air yang ada pada suatu agregat (di lapangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran mortar, dan untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan yang dipakai sebagai dasar perhitungan adalah agregat kering tungku dan jenuh kering permukaan (SSD) karena konstan untuk agregat tertentu, seperti Persamaan 3.1.

$$A_{tamb} = \frac{K - K_{SSD}}{100} \times W_{ag} \quad (3.1)$$

Dimana :

A_{tamb} = air tambahan dari agregat, dalam liter

K = kadar air di lapangan, dalam %

K_{SSD} = kadar air jenuh kering muka/SSD, dalam %

W_{ag} = berat agregat jenuh kering muka/SSD, dalam kg

Kadar air dalam pasir dapat diukur dengan Persamaan 3.2.

$$Kadar\ Air = \frac{Berat\ Semula - Berat\ Kering}{Berat\ Kering} \times 100 \quad (3.2)$$

Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

1. Kering tungku, yaitu Keadaan benar-benar tidak berair, dan ini berarti dapat menyerap air secara penuh.

2. Kering udara, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat kering permukaan tetapi mengandung sedikit air di dalam pori. Oleh karena itu pasir dalam tingkat ini masih dapat menghisap air.
3. Jenuh kering permukaan atau SSD (*Saturated Surface Dry*), pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan mortar.
4. Basah, Pada tingkat ini agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran adukan mortar akan memberi air.

3.4.3 Air

Dalam campuran mortar busa fungsi air serupa dengan air pada campuran beton, yaitu sebagai membantu dalam proses reaksi semen sehingga terjadi ikatan dengan agregat.

Air yang digunakan untuk mortar busa adalah air yang tidak mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, misalnya air yang tercemar minyak, mengandung garam, gula atau bahan kimia lainnya karena akan mengurangi kekuatan mortar busa dan dapat merubah sifat-sifat semen. Air untuk pembuatan mortar busa minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum (PUPR, 2015).

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (SK SNI, 1989):

1. Air harus bersih.
2. Air tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Air tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram / liter.
4. Air tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO_3 .
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang memakai air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.

3.4.4 Cairan Busa (*Foam Agent*)

Cairan busa (*foam agent*) adalah suatu bahan yang terbentuk dengan menjebak banyak sekali gelembung gas dalam benda cair atau padat, utamanya berjenis bahan baku aktif permukaan dan protein nabati.

Foam agent berbentuk cairan yang dicampur dengan air dan diaduk dengan alat pembangkit busa (*foam generator*) sampai menghasilkan busa. Cairan busa yang digunakan harus dapat menghasilkan gelembung dengan nilai berat isi sebesar 0,075 – 0,085 t/m³ bila bercampur dengan air menggunakan alat pembangkit busa (*foam generator*). Cairan busa ini akan menghasilkan material ringan mortar busa bila dicampur dengan pasir, semen, dan air sesuai dengan desain campuran (PUPR, 2015).

Adapun hasil pengujian senyawa kimia pembentuk *foam agent* adalah sebagai berikut (Vaza, 2015):

1. 1 – Dodecanol : 48,36 %
2. 1 – Tetradecanol : 11,09 %
3. 1 – Hexadecanol : 1,54 %
4. Methoxyacetic grid tridecyl ester : 13,28 %
5. Tetraethylene glycol monododecyl ether : 2,99 %
6. Senyawa yang tidak dapat diidentifikasi : 2,73 %

3.5 Pengujian Mortar Busa

Mortar busa sebagai bahan pengganti timbunan pada konstruksi jalan harus memenuhi kriteria dan kualitas sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Untuk itu perlu dilakukan beberapa pengujian baik pada saat mortar busa dalam kondisi segar maupun pada saat mortar busa telah mengeras dan mencapai umur tertentu. Pengujian-pengujian tersebut antara lain (PUPR, 2015) :

1. Pengujian nilai *flow*, yakni pengujian kekentalan campuran mortar busa yang dilakukan pada kondisi segar.
2. Pengujian densitas basah, yang juga dilakukan pada kondisi segar dengan cara menimbang benda uji hasil pengujian *flow* dan mengurangi nilai yang dihasilkan terhadap berat dari *ring flow*
3. Pengujian kuat tekan bebas (UCS), dilaksanakan pada kondisi mortar busa sudah mengeras pada umur-umur tertentu yang sudah ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada benda uji sesaat sebelum runtuh.

3.6 Kuat Tekan Mortar Busa

Kuat Tekan merupakan suatu parameter yang menunjukkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh gaya tekan tertentu. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan pada benda uji dengan menggunakan alat uji tekan *Compression Machine* hingga benda uji mengalami retak. Nilai kuat tekan diperoleh dari Persamaan 3.3 (SNI,2011):

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

Dimana :

$f'c$ = kuat tekan mortar busa (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang yang menerima beban (mm²)

Adapun faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kuat tekan mortar diantaranya adalah faktor air semen, jumlah semen, umur mortar, dan sifat agregat.

1. Faktor air semen (f.a.s)

Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran mortar atau beton. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai f.a.s., semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai f.a.s. yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai f.a.s. yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun.

2. Jumlah semen

Pada mortar dengan f.a.s sama, mortar dengan kandungan semen lebih banyak belum tentu mempunyai kekuatan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang banyak, demikian pula pastinya, menyebabkan kandungan pori lebih banyak daripada mortar dengan kandungan semen yang lebih sedikit.

Kandungan pori inilah yang mengurangi kekuatan mortar. Jumlah semen dalam mortar mempunyai nilai optimum tertentu yang memberikan kuat tekan tinggi

3. Umur mortar busa

Kekuatan mortar akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur dimana pada umur 28 hari mortar akan memperoleh kekuatan yang diinginkan.

4. Sifat agregat

Sifat agregat yang berpengaruh terhadap kekuatan ialah bentuk, kekasaran permukaan, kekerasan dan ukuran maksimum butir agregat. Bentuk dari agregat akan berpengaruh terhadap *interlocking* antar agregat.

3.7 Perawatan (*Curing*) Mortar Busa

Serupa dengan beton, perawatan (*curing*) pada mortar busa juga merupakan suatu proses untuk menjaga tingkat kelembaban dan menjaga temperatur ideal ntuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan. *Curing* secara umum bertujuan untuk menjaga supaya mortar busa tidak terlalu cepat kehilangan air atau sebagai tindakan untuk menjaga kelembaban dan suhu mortar busa, segera setelah proses finishing mortar busa selesai dan waktu total setting tercapai (Tjokrodikuljo, 2007).

Proses perawatan (*curing*) mortar busa dilakukan dengan membungkus mortar busa yang sudah mengeras (umur 24 jam) dengan menggunakan plastik atau terpal selama 14 hari. Hal ini dimaksudkan agar mortar busa dapat terhindar dari kontaminasi udara bebas sehingga proses hidrasi dapat berlangsung (PUPR, 2015).

3.8 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau sering disebut modulus Young merupakan rasio antara tegangan dan regangan, dimana tegangan (*stress*) adalah besar gaya yang bekerja dibagi dengan luas permukaan. Sedangkan regangan (*strain*) adalah perubahan bentuk yang terjadi akibat tegangan (Kanginan, 2005).

Hubungan antara tegangan, regangan dan modulus elastisitas (modulus Young) dalam kondisi ini diterangkan dengan hukum Hooke pada Persamaan 3.4 (Kanginan, 2005).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.4)$$

Dimana

E = Modulus elastisitas atau Modulus Young (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan, sama dengan perubahan panjang (ΔL) dibagi panjang awal (L_0)

Modulus elastisitas dapat juga dihitung dengan rumus empiris pada Persamaan 3.5 (SK-SNI,1991) berdasarkan pertimbangan unsur berat isi mortar busa yang menyerupai berat isi beton ringan.

$$E_c = 0,043 W_c^{1,5} \sqrt{f'_c} \quad (3.5)$$

Dimana

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat isi beton (Kg/m³)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

Modulus elastisitas dapat juga dihitung dengan metode grafis, yaitu dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.7 (Eurocode 2, 1992).

$$E_c = \frac{0,4 f'_c}{\varepsilon(0,4 f'_c)} \quad (3.6)$$

Dimana

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

$\varepsilon(0,4 f'_c)$ = Nilai kurva regangan pada saat 40% tegangan runtuh

Metode grafis lain yang digunakan untuk menghitung modulus elastis adalah dengan rumus pada Persamaan 3.8 (ASTM 469, 1994).

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.7)$$

Dimana

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

σ_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (MPa)

σ_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1 (MPa)

ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat σ_2 (mm/mm)

ε_1 = Regangan sebesar 0,00005 (mm/mm)

3.9 Kandungan Mineral dalam Air Rendaman

Kandungan mineral dalam air yang digunakan untuk merendam mortar busa secara umum adalah sebagai berikut :

1. Air Bersih/Air Tanah

Komposisi zat terlarut dalam air tanah dikelompokkan ke dalam 4 kelompok (Hadipurwo, 2006) :

- a. Unsur utama (*major constituents*) dengan kandungan 1,0-1000 mg/l, yakni: natrium, kalsium, magnesium, bikarbonat, sulfat, klorida, silika.
- b. Unsur sekunder (*secondary constituents*), dengan kandungan 0,01-10 mg/l, yakni besi, strontium, kalium, klorat, nitrat, florida, boron.
- c. Unsur minor (*minor constituents*), dengan kandungan 0,0001-0,1 mg/l, yakni antimon, aluminium, arsen, barium, brom, kadmium, krom, kobalt, tembaga, germanium, jodium, timbal, litium, mangan, molibdenum, nikel, fosfat, rubidium, selenium, titanium, uranium, vanadium, seng
- d. Unsur langka (*trace constituents*), dengan kandungan biasanya kurang dari 0,001 mg/l, yakni berilium, bismut, cerium, cesium, galium, indium, lanthanum, niobium, platina, radium, ruthenium, scandium, perak, thalium, thorium, timah, tungsten, yttrium, zirkon.

2. Air Hujan

Kandungan utama air hujan adalah uap air (H₂O) sebanyak 99,9% dan sisanya terdiri dari asam nitrat, karbon, asam sulfat dan garam (Kemenkes RI, 2017).

3. Air Gambut

Air gambut adalah air permukaan yang banyak terdapat di daerah berawa atau dataran rendah dengan ciri-ciri sebagai berikut (Kusnaedi, 2006) :

- a. Memiliki intensitas warna yang tinggi (berwarna coklat kemerahan) akibat dari tingginya kandungan zat-zat organik.
- b. Memiliki tingkat keasaman yang tinggi (PH rendah).
- c. Memiliki kandungan zat organik yang tinggi.
- d. Memiliki kekeruhan dan kandungan partikel tersuspensi yang rendah.
- e. Memiliki kandungan kation yang rendah.

Kandungan air gambut di Kampar, Prov Riau (Fadillah dkk, 2017) adalah sebagai berikut :

- a. PH : 4,89.
- b. Klorida (Cl^-) : 28,4 ppm.
- c. Sulfat (SO_4^{2-}) : 1020 ppm.

4. Air Laut

Air laut mengandung 3,5% garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida (Hadikusumah, 2008).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental atau model empiris, yaitu pemodelan yang didasari oleh hasil pengujian (eksperimen) secara langsung untuk memperoleh suatu data atau hasil yang berhubungan dengan variabel yang diselidiki.

Secara garis besar pelaksanaan penelitian ini meliputi :

1. Pengumpulan bahan
2. Pembuatan benda uji
3. Perawatan benda uji
4. Perendaman benda uji dengan 4 jenis air, yaitu air tanah atau air bersih, air hujan, air gambut dan air laut.
5. Pengujian kuat tekan bebas (UCS)
6. Analisa hasil pengujian
7. Menarik kesimpulan

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi, yakni laboratorium lapangan PT. Semangat Hasrat Tata Jaya (lokasi Pembangunan Fly Over Simpang SKA Pekanbaru) untuk pembuatan benda uji dan Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau untuk pengujian kuat tekan benda uji.

4.3 Bahan atau Materi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semen, menggunakan semen Portland komposit (PCC) dari PT. Semen Padang.
2. Pasir atau agregat halus, berasal dari Danau Bingkuang
3. Air, menggunakan air tanah yang berasal laboratorium lapangan PT. Semangat Hasrat Tata Jaya proyek pembangunan flyover simpang SKA Pekanbaru.
4. *Foam agent* jenis nabati Samacon.
5. Air untuk merendam benda uji terdiri dari air bersih, air hujan, air gambut dan air laut.

4.4 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Alat penakar, antara lain :
 - a. Timbangan dengan kapasitas 20 sampai dengan 50 kg.
 - b. Gelas ukur
2. Alat pencampur, yang terdiri dari :
 - a. Alat pembangkit busa (*foam generator*)
 - b. Alat tekan udara (*air compressor*) dengan kapasitas tekanan 0,6 s/d 1 MPa
 - c. Alat pengaduk (*laboratory mixer*) dengan kecepatan 30 s/d 60 rpm dengan blade yang berputar

3. Alat pengujian densitas basah, antara lain :
 - a. Sendok mortar
 - b. Cawan atau ember dengan kapasitas 0,2 s/d 10 liter
 - c. Pisau
4. Alat pengujian daya alir (*flowability*)
 - a. Ring flow berdiameter 80mm dan tinggi 80 mm
 - b. Papan plastik/kaca ukuran 400 mm x 400 mm
 - c. Penggaris/mistar
5. Alat pengujian tekan bebas (UCS)
 - a. Cetakan silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm
 - b. Alat uji tekan bebas (UCS) sesuai SNI 3638 : 2012
 - c. Stopwatch

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada

Gambar 4.1



Gambar 4.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian

Gambar 4.1 menunjukkan beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya alat uji UCS, cetakan silinder, alat pengaduk (*mixer*), timbangan dan *air compressor*.

4.5 Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini dibuat 3 buah untuk masing-masing variasi, yaitu 4 jenis air rendaman dan 2 jenis metode perawatan untuk 5 macam umur rendaman, ditambah 3 benda uji untuk variasi umur 3, 7, dan 14 hari pada jenis perawatan dengan rendaman air bersih (sebelum masuk 4 jenis air rendaman). Total benda uji yang dibuat berjumlah 129 buah. Benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Benda uji mortar busa

Gambar 4.2 adalah benda uji mortar busa yang dibuat pada penelitian ini dengan bentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm.

4.6 Tahapan Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan dengan urutan yang jelas dan sistematis sehingga akan diperoleh hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Secara garis besar pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap I (persiapan)

Pada tahap ini dilakukan persiapan atau pengadaan material yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji dan peralatan yang akan digunakan. Dalam tahap ini juga dilakukan pengumpulan data-data sekunder yang dibutuhkan, serta pengurusan ijin ke laboratorium.

2. Tahap II (pengujian material)

Pada tahap ini dilakukan pengujian material sebagai berikut :

- a. Pemeriksaan karakteristik agregat halus, terdiri dari pemeriksaan gradasi agregat halus dan kadar air agregat halus.
- b. Pengujian nilai PH terhadap air yang akan digunakan untuk merendam benda uji, yakni air bersih, air hujan, air gambut dan air laut.

3. Tahap III (pembuatan benda uji)

Pada tahap ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut :

- a. Penetapan *job mix design* (perancangan campuran) mortar busa.
- b. Pembuatan campuran/adukan mortar busa.

Proses pembuatan campuran mortar busa terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pembuatan campuran mortar busa

Gambar 4.3 menunjukkan proses pembuatan campuran mortar busa dengan menggunakan mesin pengaduk (*mixer*).

- c. Pengujian densitas basah campuran/adukan mortar busa
- d. Pengujian nilai flow

Proses pengujian nilai flow dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pengujian nilai flow

Gambar 4.4 menunjukkan cara dan tahapan dalam melakukan pengujian nilai flow. Prosedur pengujian nilai flow lebih detail disampaikan di sub bab 4.7 mengenai Prosedur Pengujian.

- e. Pencetakan/pembuatan benda uji, berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Proses pencetakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pencetakan benda uji

Gambar 4.5 menunjukkan proses pencetakan benda uji dengan menggunakan cetakan silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Cetakan silinder terlebih dahulu diberikan pelumas sebelum digunakan untuk mencetak benda uji mortar busa dengan tujuan agar benda uji yang sudah mengers mudah dikeluarkan dari cetakan.

4. Tahap IV (perawatan/*curing*)

Pada tahap ini dilakukan perawatan terhadap benda uji dengan 2 jenis metode perawatan, yaitu dengan dibungkus plastik dan dengan direndam menggunakan air bersih. Untuk perawatan dengan direndam air bersih, masing-masing benda uji dimasukkan ke dalam plastik berlubang-lubang yang berisi air bersih, kemudian direndam dalam wadah yang juga berisi air bersih. Hal ini dilakukan untuk memastikan benda uji terendam dengan sempurna karena pada waktu awal perendaman benda uji akan mengapung di permukaan air. Perawatan ini dilakukan selama 14 hari. Proses perawatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Perawatan (*curing*) benda uji mortar busa

Gambar 4.6 menunjukkan proses perawatan benda uji setelah benda uji mengeras dan dikeluarkan dari cetakan (24 jam setelah dicetak).

5. Tahap V (perendaman benda uji dengan 4 jenis air)

Benda uji yang telah selesai masa perawatan, pada tahap ini direndam dengan 4 jenis air yang berbeda yaitu air bersih, air hujan, air gambut dan air laut. Cara perendaman benda uji pada tahap ini sama dengan cara perendaman benda uji pada Tahap IV. Proses perendaman benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perendaman benda uji

Gambar 4.7 menunjukkan proses perendaman benda uji dengan 4 jenis air yang berbeda. Perendaman dilakukan setelah proses perawatan selama 14 hari dengan lama perendaman adalah 7, 14, 21, 28 dan 35 hari.

6. Tahap VI (pengujian)

Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan bebas benda uji setelah direndam selama 7, 14, 21, 28 dan 35 hari. Proses pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengujian kuat tekan bebas (UCS)

Gambar 4.8 menunjukkan pengujian kuat tekan bebas (UCS) yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Tahapan dan prosedur detail mengenai pengujian UCS ini dijelaskan dalam sub bab 4.7 mengenai Prosedur Pengujian.

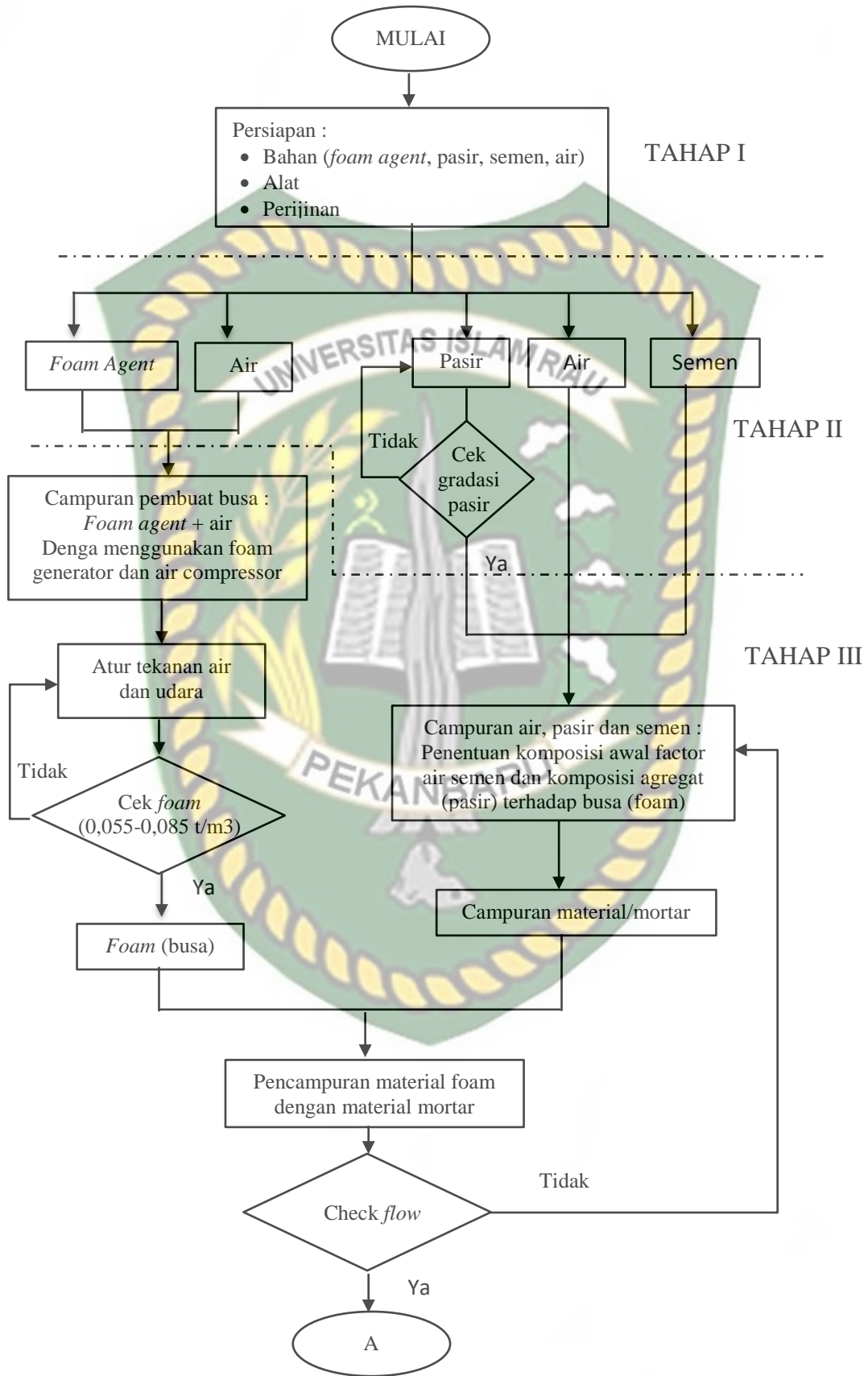
7. Tahap VII (analisa data)

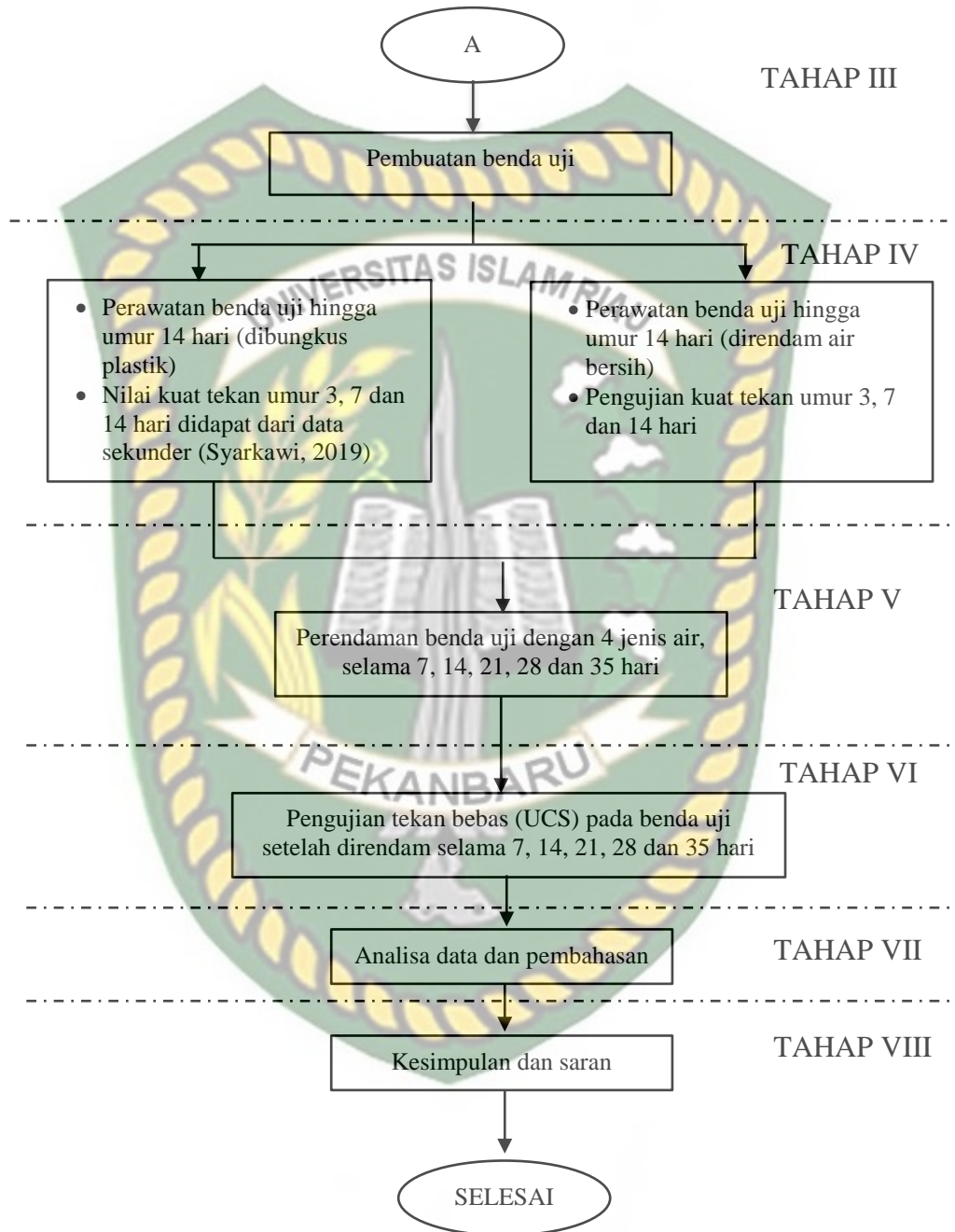
Pada tahap ini dilakukan analisa data-data hasil pengujian, untuk memperoleh hubungan antara variabel-variabel yang ingin diketahui dalam penelitian.

8. Tahap VIII (penarikan kesimpulan)

Pada tahap ini ditarik kesimpulan dari hasil analisis data yang telah diperoleh yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir (flow chart) yang terdapat dalam Gambar 4.9.





Gambar 4.9 Bagan alir penelitian

4.7 Prosedur Pengujian

Dalam sub bab ini akan dijelaskan beberapa prosedur pengujian yang dilaksanakan pada penelitian ini, yaitu pengujian nilai flow dan pengujian kuat tekan bebas (UCS).

4.7.1 Pengujian Nilai *Flow*.

Pengujian nilai flow mengacu pada ASTM C 230. Pengujian nilai *flow* material mortar-busa dilakukan dalam kondisi segar untuk memeriksa kekentalan campuran, tahapan pengecekan nilai *flow* adalah sebagai berikut :

1. Tuangkan hasil campuran yang telah terbentuk menjadi mortar-busa di atas bidang yang rata ke dalam *ring flow* hingga batas atas.
2. Angkat *ring flow* perlahan hingga mortar-busa mengalir dan menyebar untuk mengetahui nilai *flow*.
3. Nilai hasil *flow harus* $180\text{mm} \pm 20\text{mm}$.
4. Apabila nilai *flow* tidak memenuhi spesifikasi, dapat dikurangi atau menambah jumlah busa (*foam*) atau mengurangi agregat yang digunakan.

4.7.2 Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCS)

Pengujian kuat tekan bebas (UCS) mortar busa mengacu pada SNI 3638:2012. Prosedur pengujian kuat tekan bebas adalah sebagai berikut :

1. Benda uji yang sudah mencapai umur rendaman yang dikehendaki dikeluarkan dari rendaman sehari sebelum dilaksanakan pengujian UCS.
2. Benda uji ditimbang untuk memperoleh berat benda uji sebelum pelaksanaan pengujian UCS.

3. Letakkan benda uji pada mesin UCS tepat pada pusat pelat dasar. Alat UCS digerakkan perlahan-lahan hingga pelat atas menyentuh benda uji. Arloji ukur dinolkan, kemudian dilakukan pembebanan sehingga menghasilkan regangan aksial dengan kecepatan $\frac{1}{2}\%$ sampai dengan 2% per menit. Catat beban, deformasi, dan waktu pada interval yang sesuai untuk mendapatkan bentuk kurva tegangan-regangan. Pembebanan terus dilakukan hingga nilai beban berkurang atau pembacaan arloji menurun dari pembacaan sebelumnya.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Material

Pemeriksaan sifat-sifat material dilakukan pada tahap awal penelitian sebelum material-material tersebut digunakan. Pemeriksaan sifat-sifat material ini antara lain bertujuan untuk memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan/spek yang telah ditetapkan serta untuk mengetahui sifat-sifat fisik pada material khususnya pada air yang akan digunakan untuk merendam benda uji.

5.1.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat halus yang berasal dari *quary* Danau Bingkuang. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus tertera dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pemeriksaan agregat halus (*quary* Danau Bingkuang)

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan
1	Berat jenis kering	gr/cc	2,58
2	Berat jenis SSD	gr/cc	2,60
3	Berat jenis semu	gr/cc	2,64
4	Tingkat penyerapan air	%	0,88
5	Berat isi lepas	gr/cc	1,49

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus yang tertera pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa pasir dari *quary* Danau Bingkuang memenuhi persyaratan

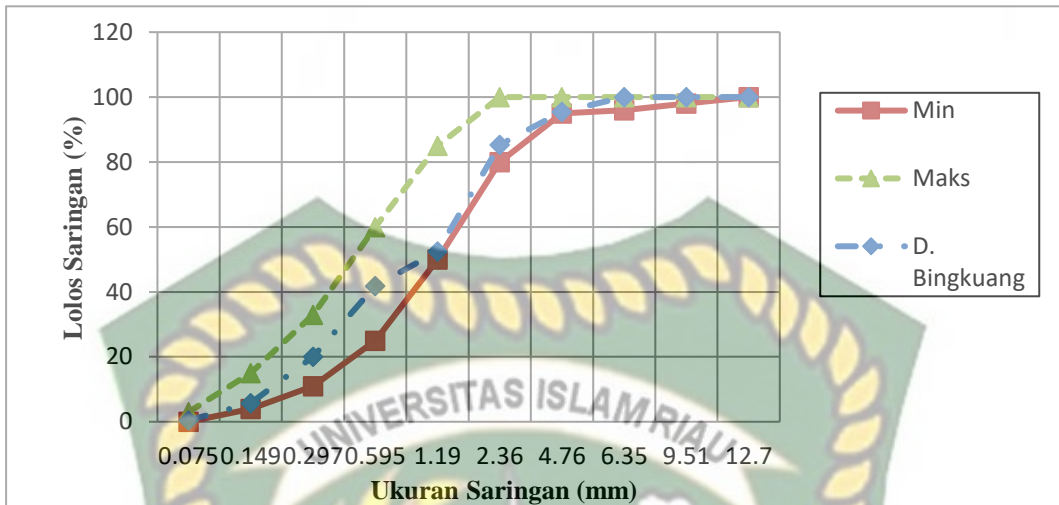
untuk digunakan sebagai bahan pembuatan mortar busa dimana tingkat penyerapan air adalah 0,88% sehingga masih dibawah nilai maksimum yang disyaratkan yaitu 5%.

Selain pemeriksaan karakteristik agregat halus, juga dilakukan pemeriksaan gradasi agregat halus dengan analisa saringan. Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus yang berasal dari *quary* Danau Bingkuang tertera pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pemeriksaan Analisa Saringan Presentase Lolos Agregat Halus

No.	Ukuran Ayakan (ASTM)		Lolos Saringan (%)	Spesifikasi	
	Inci/No.	mm		Minimum	Maksimum
1	½"	12,7	100	100	100
2	3/8"	9,51	100	98	100
3	¼"	6,35	100	96	100
4	No. 4	4,76	95,46	95	100
5	No. 8	2,36	85,29	80	100
6	No. 16	1,19	52,5	50	85
7	No. 30	0,595	41,87	25	60
8	No. 50	0,297	20,00	11	33
9	No. 100	0,149	5,77	4	15
10	No. 200	0,075	0,41	0	3

Tabel 5.2 menunjukkan hasil analisa saringan agregat halus berdasarkan nilai prosentase berat yang lolos di setiap nomor saringan. Berdasarkan Tabel 5.2 hasil pemeriksaan gradasi agregat halus dapat digambarkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan distribusi ukuran butiran agregat halus, sehingga dapat ditentukan zona gradasi masing-masing agregat halus, seperti terlihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Gradasi agregat halus *quari* Danau Bingkuang

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa agregat halus dari *quary* Danau Bingkuang masuk kedalam zona 2 sesuai dengan SK SNI T-15-1990-03 dan memenuhi syarat gradasi agregat halus untuk mortar busa.

5.1.2 Pemeriksaan PH Air

Pengujian PH air dilakukan terhadap 4 jenis air yang akan digunakan untuk merendam benda uji. Hasil pengujian PH air dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian PH air

No.	Jenis Air	Nilai PH	Sifat
1.	Air bersih	6	Asam
2.	Air hujan	5	Asam
3.	Air gambut	4	Asam
4.	Air laut	8	Basa/Alkalis

Dari tabel 5.3 dapat terlihat bahwa air bersih, air hujan dan air gambut yang digunakan untuk merendam benda uji memiliki nilai $PH < 7$ sehingga bersifat asam, sedangkan air laut memiliki nilai PH 8 sehingga bersifat basa atau alkalis.

5.2 Rancangan Campuran Mortar Busa

Rancangan campuran mortar busa pada penelitian ini mengacu pada rancangan campuran yang digunakan pada Proyek Pembangunan Flyover Simpang SKA Pekanbaru dengan kekuatan tekan bebas rencana 800 kPa untuk lapisan fondasi bawah (*sub base*). Komposisi material penyusun untuk 1m³ mortar busa dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Komposisi material untuk 1m³ mortar busa untuk kuat tekan bebas rencana 800 kPa

No.	Jenis Material	Jumlah (kg)
1.	Semen	320,00
2.	Pasir	343,31
3.	Air	114,00
4.	<i>Foam agent</i>	49,60
TOTAL		856,91

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa berat total bahan pembentuk 1m³ mortar busa adalah 856,91 kg, dengan rincian berat semen 320 kg, pasir 343,31 kg, air 144 kg dan *foam agent* 49,60 kg. Apabila dibandingkan terhadap penggunaan semen maka perbandingannya adalah 1 semen : 1,073 pasir : 0,45 air : 0,155 *foam agent*.

5.3 Hasil Pengujian Nilai *Flow*

Pengujian nilai *flow* mortar busa dilakukan dalam kondisi segar, yaitu segera setelah proses pengadukan/pencampuran material pembentuk mortar busa. Pengujian nilai *flow* dilakukan setiap kali membuat adukan. Hasil pengujian nilai *flow* tercantum dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil pengujian nilai *flow*

Jenis Perawatan	Jenis Rendaman	Nilai Flow (cm)				
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 hari	35 Hari
Dibungkus plastik	Air Bersih	18	18,5	18	19	20
	Air Hujan	18	19	19	19	20
	Air Gambut	18,5	18,5	19	19	20
	Air Laut	19	19	19	19	19
Direndam air bersih	Air Bersih	18	18,5	18	19	20
	Air Hujan	18	19	19	19	20
	Air Gambut	18,5	18,5	19	19	20
	Air Laut	19	19	19	19	19

Pada tabel 5.5 terlihat bahwa nilai *flow* tertinggi adalah 20 cm dan nilai *flow* terendah adalah 18 cm. Nilai *flow* tersebut seluruhnya memenuhi persyaratan yaitu $18 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$.

5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa

Pengujian kuat tekan bebas mortar busa dilakukan pada durasi perendaman 7, 14, 21, 28 dan 30 hari, hasilnya adalah sebagai berikut :

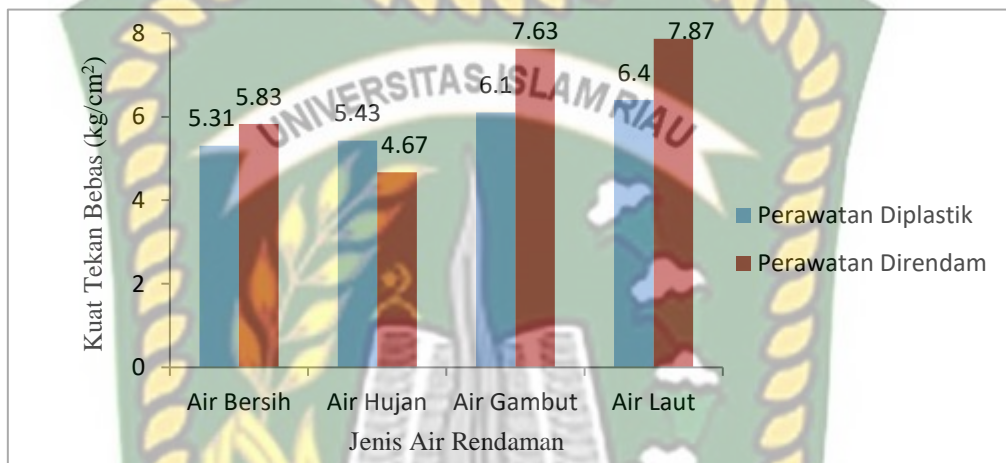
1. Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 7 Hari

Dari pengujian yang dilakukan pada rendaman 7 hari pada 4 jenis air rendaman dan dua metode perawatan didapatkan hasil kuat tekan bebas rata-rata seperti pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Nilai Kuat Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata Mortar Busa Pada Rendaman 7 Hari

No.	Jenis Air Rendaman	Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata (kg/cm ²)	
		Perawatan Diplastik	Perawatan Direndam
1.	Air bersih	5,31	5,83
2.	Air Hujan	5,43	4,67
3.	Air Gambut	6,1	7,63
4.	Air Laut	6,4	7,87

Tabel 5.6 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 7 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 7 hari juga dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 7 Hari

Dari Gambar 5.2 terlihat bahwa pada rendaman 7 hari kuat tekan bebas rata-rata tertinggi terjadi pada mortar busa dengan rendaman air laut dengan perawatan direndam yaitu sebesar 7,87 kg/cm², sedangkan kuat tekan bebas rata-rata terendah terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan yang direndam yaitu 4,67 kg/cm². Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada rendaman 7 hari kuat tekan bebas seluruh benda uji belum mencapai persyaratan kuat tekan bebas minimum untuk lapis fondasi bawah (*sub base*) < 8 kg/cm².

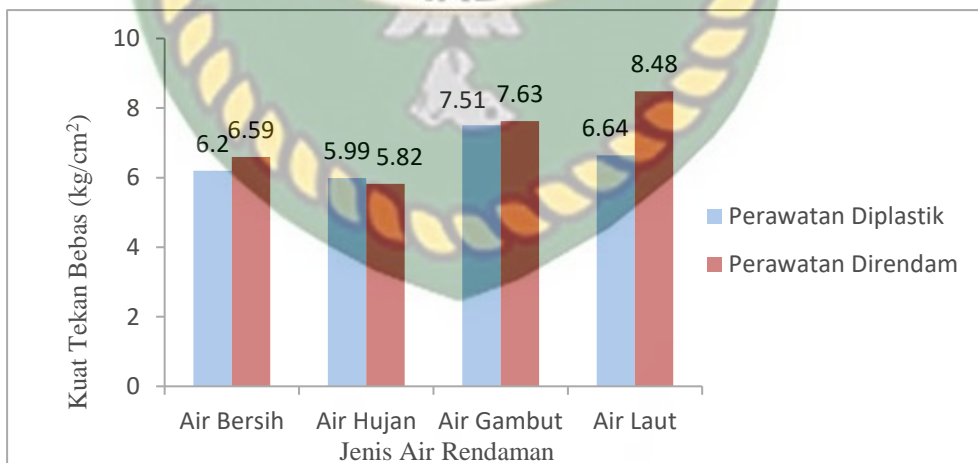
2. Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 14 Hari

Dari pengujian yang dilakukan pada rendaman 14 hari pada 4 jenis air rendaman dan dua metode perawatan didapatkan hasil kuat tekan bebas rata-rata seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata Mortar Busa Pada Rendaman 14 Hari

No.	Jenis Air Rendaman	Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata (kg/cm ²)	
		Perawatan Diplastik	Perawatan Direndam
1.	Air bersih	6,2	6,59
2.	Air Hujan	5,99	5,82
3.	Air Gambut	7,51	7,63
4.	Air Laut	6,64	8,48

Tabel 5.7 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 14 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 14 hari juga dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 14 Hari

Dari Gambar 5.3 terlihat bahwa pada rendaman 14 hari kuat tekan bebas rata-rata tertinggi terjadi pada rendaman air laut dengan perawatan

direndam yaitu $8,48 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan kuat tekan bebas rata-rata terendah terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan yang direndam yaitu $5,82 \text{ kg/cm}^2$. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada rendaman 14 hari kuat tekan bebas seluruh benda uji pada rendaman air laut dengan perawatan direndam sudah mencapai persyaratan kuat tekan bebas minimum untuk lapis fondasi bawah (*sub base*) yaitu $\geq 8 \text{ kg/cm}^2$, namun pada jenis rendaman yang lain belum ada yang mencapai syarat tersebut ($< 8 \text{ kg/cm}^2$).

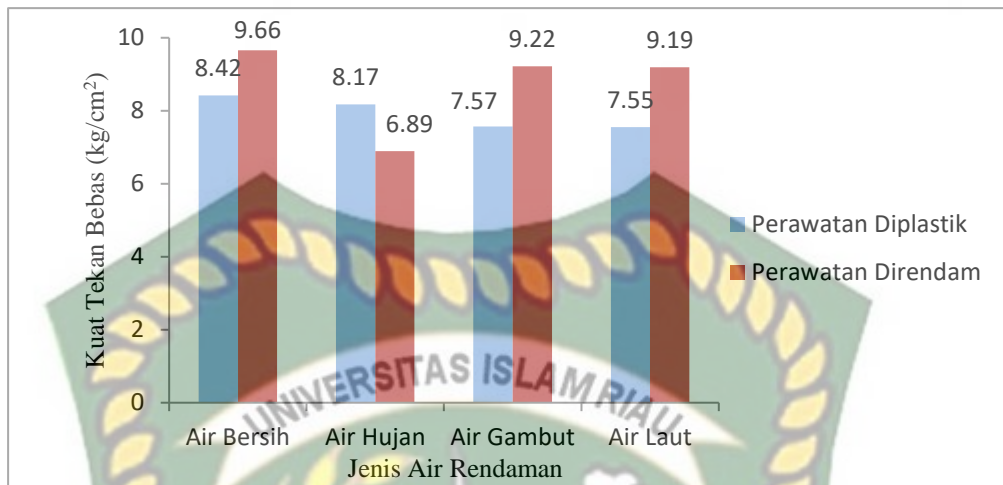
3. Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 21 Hari

Dari pengujian yang dilakukan pada rendaman 21 hari pada 4 jenis air rendaman dan dua metode perawatan didapatkan hasil kuat tekan bebas rata-rata seperti pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata Mortar Busa Pada Rendaman 21 Hari

No.	Jenis Air Rendaman	Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata (kg/cm^2)	
		Perawatan Diplastik	Perawatan Direndam
1.	Air bersih	8,42	9,66
2.	Air Hujan	8,17	6,89
3.	Air Gambut	7,57	9,22
4.	Air Laut	7,55	9,19

Tabel 5.8 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 21 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 21 hari juga dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 21 Hari

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa pada rendaman 21 hari kuat tekan bebas rata-rata tertinggi terjadi pada rendaman air bersih dengan perawatan direndam yaitu 9,66 kg/cm², sedangkan kuat tekan bebas rata-rata terendah terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan yang direndam yaitu 6,89 kg/cm². Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada rendaman 21 hari kuat tekan bebas sebagian besar benda uji sudah mencapai persyaratan kuat tekan minimum untuk lapis fondasi bawah (*sub base*) yaitu ≥ 8 kg/cm², kecuali pada jenis rendaman air hujan (perawatan direndam), rendaman air gambut (perawatan diplastik) dan rendaman air laut (perawatan diplastik) belum ada yang mencapai syarat tersebut (< 8 kg/cm²).

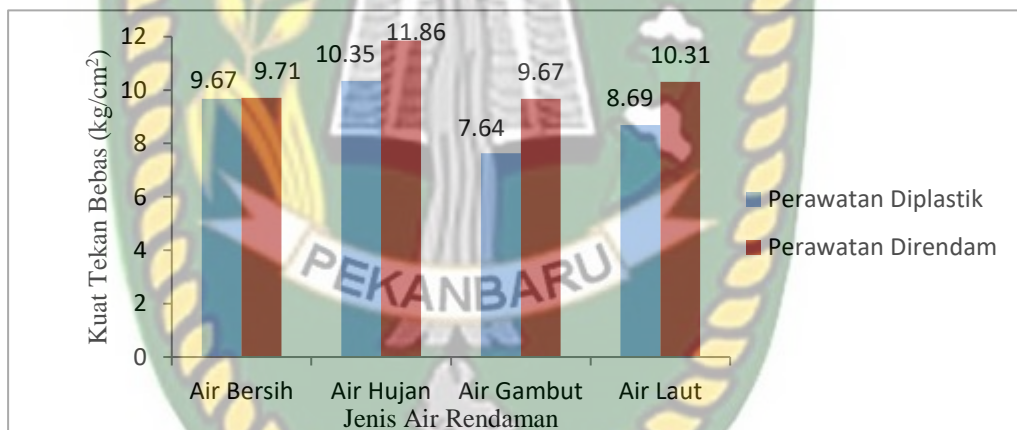
4. Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 28 Hari

Dari pengujian yang dilakukan pada rendaman 28 hari pada 4 jenis air rendaman dan dua metode perawatan didapatkan hasil kuat tekan bebas rata-rata seperti pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Nilai Kuat Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata Mortar Busa Pada Rendaman 28 Hari

No.	Jenis Air Rendaman	Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata (kg/cm ²)	
		Perawatan Diplastik	Perawatan Direndam
1.	Air bersih	9,67	9,71
2.	Air Hujan	10,35	11,86
3.	Air Gambut	7,64	9,67
4.	Air Laut	8,69	10,31

Tabel 5.9 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 28 hari juga dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 28 Hari

Dari Gambar 5.5 terlihat bahwa pada rendaman 28 hari kuat tekan bebas rata-rata tertinggi terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan direndam yaitu 11,86 kg/cm². Sedangkan kuat tekan bebas rata-rata terendah terjadi pada rendaman air gambut dengan perawatan diplastik yaitu sebesar 7,64 kg/cm². Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada rendaman 28 hari hanya pada rendaman air gambut dengan perawatan diplastik yang tidak

memenuhi persyaratan kuat tekan bebas minimum untuk lapis fondasi bawah (*sub base*) yaitu $< 8 \text{ kg/cm}^2$.

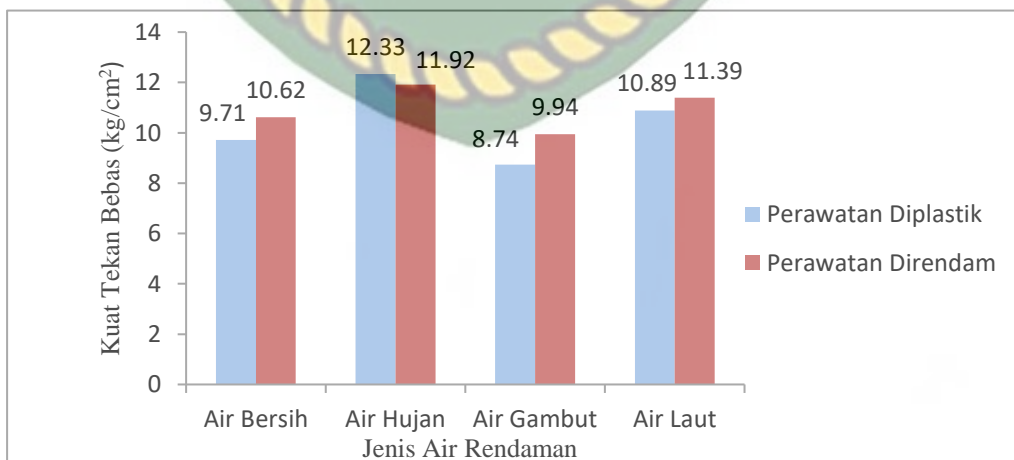
5. Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 35 Hari

Dari pengujian yang dilakukan pada rendaman 35 hari pada 4 jenis air rendaman dan dua metode perawatan didapatkan hasil kuat tekan bebas rata-rata seperti pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata Mortar Busa Pada Rendaman 35 Hari

No.	Jenis Air Rendaman	Nilai Kuat Tekan Bebas Rata-rata (kg/cm^2)	
		Perawatan Diplastik	Perawatan Direndam
1.	Air bersih	9,71	10,62
2.	Air Hujan	12,33	11,92
3.	Air Gambut	8,74	9,94
4.	Air Laut	10,89	11,39

Tabel 5.10 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 35 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada rendaman 35 hari juga dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Rendaman 35 hari

Dari Gambar 5.6 terlihat bahwa pada rendaman 35 hari kuat tekan bebas rata-rata tertinggi terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan diplastik yaitu $12,33 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan kuat tekan bebas rata-rata terendah terjadi pada rendaman air gambut hujan dengan perawatan yang diplastik yaitu $8,74 \text{ kg/cm}^2$. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada rendaman 35 hari seluruh benda uji memenuhi persyaratan kuat tekan bebas minimum untuk lapis fondasi bawah (*sub base*) yaitu $\geq 8 \text{ kg/cm}^2$.

5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan Bebas Mortar Busa dan Lama Waktu Perendaman

Pada sub bab ini disajikan hubungan kuat tekan bebas mortar busa dengan lama waktu perendaman pada mortar busa yang dirawat dengan dibungkus plastik dan mortar busa yang dirawat dengan direndam.

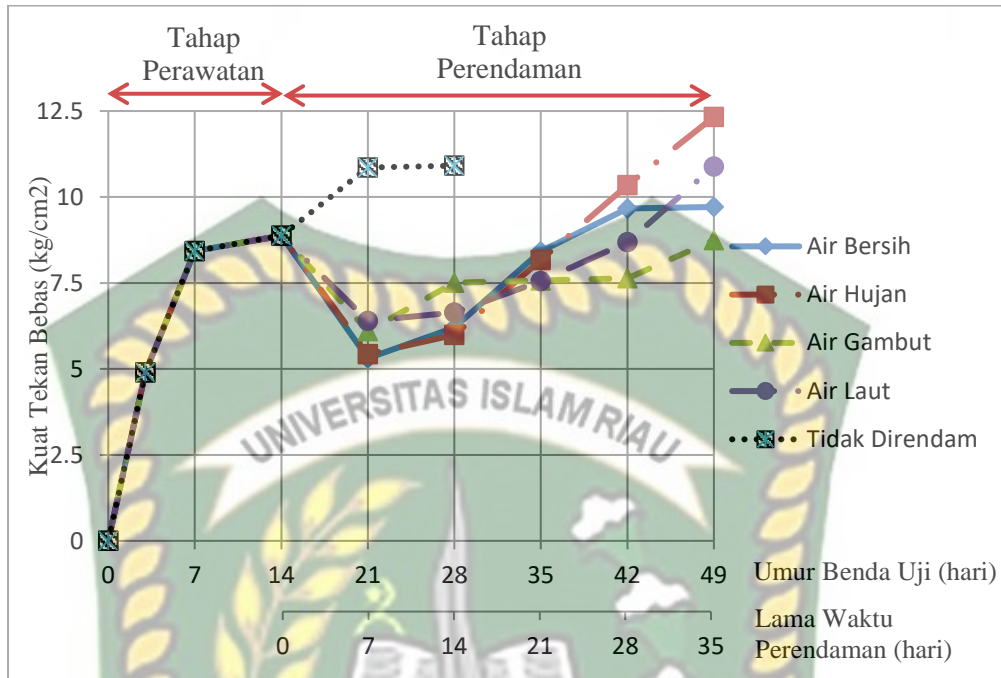
1. Hubungan Antara Kuat Tekan Bebas Mortar Busa dan Lama Waktu Perendaman untuk Jenis Perawatan Dibungkus Plastik

Hubungan antara kuat tekan bebas mortar busa dan lama waktu perendaman untuk jenis perawatan dibungkus plastik dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hubungan umur benda uji dan lama waktu perendaman terhadap kuat tekan bebas rata-rata untuk jenis perawatan dibungkus plastik

No.	Umur Benda Uji	Lama Waktu Rendaman	Kuat Tekan Bebas Rata-rata Benda Uji (kg/cm ²)				
			(hari)	Air Bersih	Air Hujan	Air Gambut	Air Laut
1.	0	0	0	0	0	0	0
2.	3	0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
3.	7	0	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43
4.	14	0	8,87	8,87	8,87	8,87	8,87
5.	21	7	5,31	5,43	6,1	6,4	10,86
6.	28	14	6,2	5,99	7,51	6,64	10,91
7.	35	21	8,42	8,17	7,57	7,55	-
8.	42	28	9,67	10,35	7,64	8,69	-
9.	49	35	9,71	12,33	8,74	10,89	-

Dari tabel 5.11 terlihat bahwa kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada benda uji yang direndaman air hujan pada lama waktu perendaman 35 hari yaitu sebesar 12,33 kg/cm². Untuk mempermudah membaca data yang tertera pada Tabel 5.11 maka dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa dan Lama Waktu Perendaman Untuk Jenis Perawatan Dibungkus Plastik

Dari Gambar 5.7 terlihat setelah benda uji dimasukkan ke dalam rendaman 4 jenis air terjadi penurunan kuat tekan bebas pada umur rendaman 7 hari masing-masing sebesar 40,14% pada rendaman air bersih, 38,78% pada rendaman air hujan, 31,23% pada rendaman air gambut dan 27,85% pada rendaman air laut. Penurunan ini cukup signifikan sehingga nilai kuat tekan bebas benda uji menjadi lebih kecil dari persyaratan nilai kuat tekan bebas mortar busa untuk pengganti *sub base* yaitu $> 8 \text{ kg/cm}^2$. Seiring dengan bertambahnya umur rendaman nilai kuat tekan bebas benda uji kembali naik dan mencapai nilai kuat tekan bebas yang diijinkan, yakni pada umur rendaman 21 hari untuk rendaman air bersih dan air hujan, pada umur rendaman 35 hari untuk rendaman air gambut dan umur 28 hari untuk rendaman air laut. Kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada benda uji dengan

rendaman air hujan pada umur rendaman 35 hari, yaitu sebesar 12,33 kg/cm². Untuk benda uji yang tidak direndam nilai kuat tekan bebas terus meningkat seiring dengan bertambahnya umur benda uji, namun pada umur benda uji 21 hari menuju umur 28 hari peningkatan nilai kuat tekan sangat kecil sekali, sehingga dapat dikatakan bahwa sudah tidak ada peningkatan nilai kuat tekan bebas pada umur 21 hari.

2. Hubungan Antara Kuat Tekan Bebas Mortar Busa dan Lama Waktu Perendaman Untuk Jenis Perawatan Direndam Air Bersih

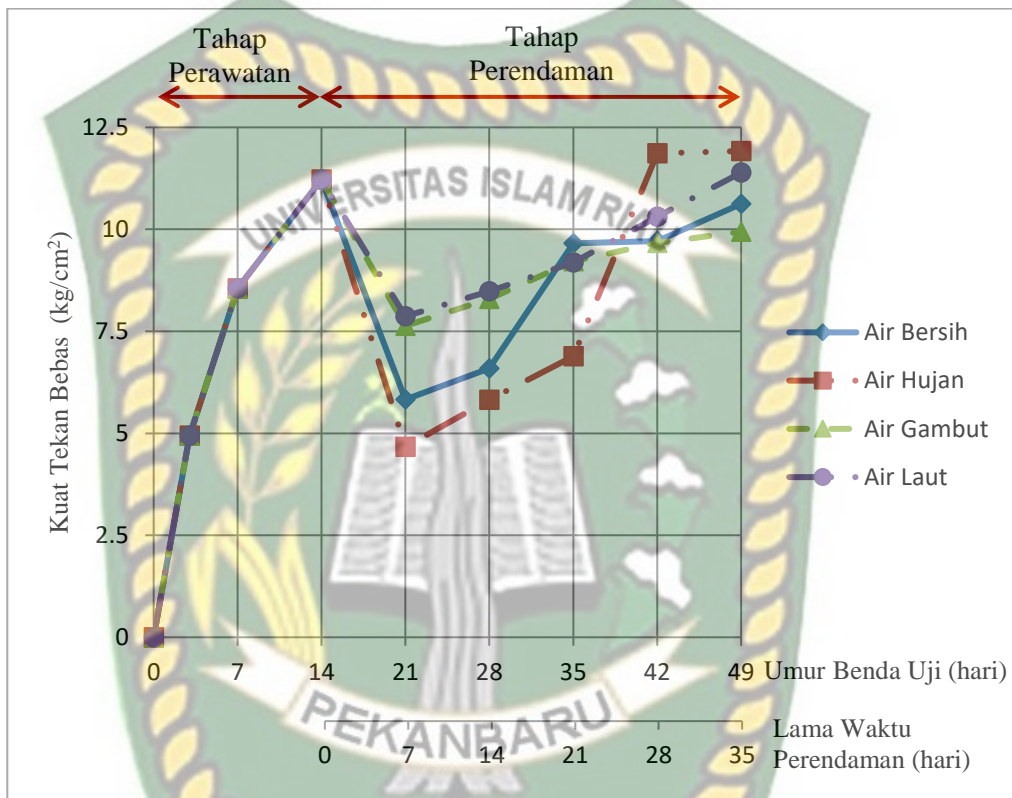
Hubungan antara kuat tekan bebas mortar busa dan lama waktu perendaman untuk jenis perawatan direndam air bersih dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hubungan umur benda uji dan lama waktu perendaman terhadap kuat tekan bebas rata-rata untuk jenis perawatan direndam air bersih

No.	Umur Benda Uji	Lama Waktu Rendaman (hari)	Kuat Tekan Bebas Rata-rata Benda Uji (kg/cm ²)			
			Air Bersih	Air Hujan	Air Gambut	Air Laut
1.	0	0	0	0	0	0
2.	3	0	4,94	4,94	4,94	4,94
3.	7	0	8,55	8,55	8,55	8,55
4.	14	0	11,22	11,22	11,22	11,22
5.	21	7	5,83	4,67	7,63	7,87
6.	28	14	6,59	5,82	8,29	8,48
7.	35	21	9,66	6,89	9,22	9,19
8.	42	28	9,71	11,86	9,67	10,31
9.	49	35	10,62	11,92	9,94	11,39

Dari Tabel 5.12 terlihat bahwa kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada benda uji yang direndam air hujan dengan lama waktu perendaman 35 hari yaitu

sebesar 11,92 kg/cm². Untuk mempermudah membaca data yang tertera pada Tabel 5.12 maka dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa dan Lama Waktu Perendaman Untuk Jenis Perawatan Direndam Air Bersih

Dari Gambar 5.8 terlihat bahwa setelah benda uji dimasukkan ke dalam rendaman 4 jenis air terjadi penurunan kuat tekan bebas pada umur rendaman 7 hari masing-masing sebesar 48,04% pada rendaman air bersih, 58,38% pada rendaman air hujan, 32% pada rendaman air gambut dan 29,86% pada rendaman air laut. Penurunan ini cukup signifikan sehingga nilai kuat tekan bebas benda uji menjadi lebih kecil dari persyaratan nilai kuat tekan bebas mortar busa untuk pengganti *sub base* yaitu > 8 kg/cm². Seiring dengan bertambahnya durasi rendaman nilai kuat tekan bebas benda uji

kembali naik dan mencapai kuat tekan yang diijinkan, yakni pada durasi perendaman 21 hari untuk rendaman air bersih, 28 hari untuk air hujan, 14 hari pada air gambut dan air laut. Kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada benda uji dengan jenis rendaman air hujan pada durasi perendaman 35 hari yaitu sebesar 11,92 kg/cm².

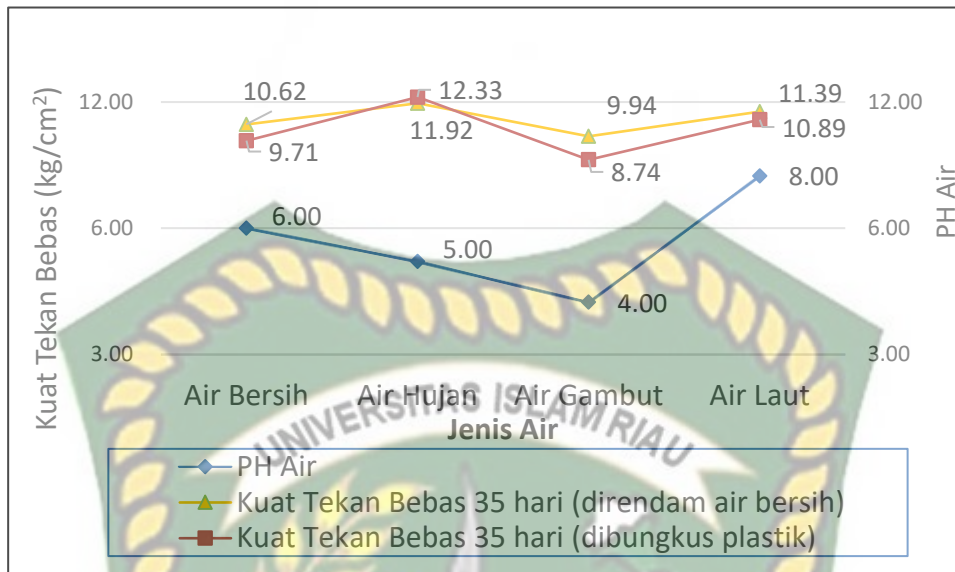
5.6 Perbandingan Nilai PH Air Rendaman dengan Nilai Kuat Tekan Bebas Mortar Busa

Perbandingan nilai PH air rendaman dengan nilai kuat tekan bebas mortar busa untuk masing-masing umur rendaman dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Perbandingan nilai PH air dengan nilai kuat tekan bebas mortar busa.

Jenis Perawatan	Jenis Rendaman	PH Air	Nilai Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)				
			7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 hari	35 Hari
Dibungkus plastik	Air Bersih	6	5,31	6,2	8,42	9,67	9,71
	Air Hujan	5	5,43	5,99	8,17	10,35	12,33
	Air Gambut	4	6,1	7,51	7,57	7,64	8,74
	Air Laut	8	6,4	6,64	7,55	8,69	10,89
Direndam air bersih	Air Bersih	6	5,83	6,59	9,66	9,71	10,62
	Air Hujan	5	4,67	5,82	6,89	11,86	11,92
	Air Gambut	4	7,63	7,63	9,22	9,67	9,94
	Air Laut	8	7,87	8,48	9,19	10,31	11,39

Pada Tabel 5.13 dapat dilihat perbandingan nilai PH air rendaman dengan nilai kuat tekan bebas mortar busa pada masing-masing umur rendaman dengan dua jenis metode perawatan. Perbandingan nilai PH air dengan nilai kuat tekan mortar busa untuk lama waktu rendaman tertinggi (35 hari) disajikan dalam grafik pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Nilai PH Air Rendaman dengan Nilai Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pada Lama Waktu Perendaman 35 Hari

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa pada lama waktu perendaman 35 hari nilai kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada rendaman air hujan yang memiliki nilai PH 5, nilai kuat tekan tertinggi tersebut masing-masing 12,33 kg/cm² untuk mortar busa dengan perawatan dibungkus plastik dan 11,92 kg/cm² untuk mortar busa dengan perawatan diredam air bersih. Nilai kuat tekan bebas terendah pada umur rendaman 35 hari terjadi pada rendaman air gambut yang memiliki nilai PH 4, dengan nilai masing-masing 8,74 kg/cm² untuk mortar busa dengan perawatan dibungkus plastik dan 9,94 kg/cm² untuk mortar busa dengan perawatan diredam air bersih.

5.7 Hubungan Antara Jenis Metode Perawatan dengan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa

Hubungan antara jenis metode perawatan dengan kuat tekan bebas mortar busa untuk masing-masing umur rendaman dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hubungan Jenis Metode Perawatan dengan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa

Jenis Perawatan	Jenis Rendaman	Nilai Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)				
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 hari	35 Hari
Dibungkus plastik	Air Bersih	5,31	6,2	8,42	9,67	9,71
	Air Hujan	5,43	5,99	8,17	10,35	12,33
	Air Gambut	6,1	7,51	7,57	7,64	8,74
	Air Laut	6,4	6,64	7,55	8,69	10,89
Direndam air bersih	Air Bersih	5,83	6,59	9,66	9,71	10,62
	Air Hujan	4,67	5,82	6,89	11,86	11,92
	Air Gambut	7,63	7,63	9,22	9,67	9,94
	Air Laut	7,87	8,48	9,19	10,31	11,39

Pada Tabel 5.14 dapat dilihat bahwa pada lama waktu rendaman 7, 14, 21 dan 28 hari nilai kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada mortar busa dengan jenis perawatan direndam air bersih dengan nilai masing-masing sebesar 7,87 kg/cm², 8,48 kg/cm², 9,66 kg/cm² dan 11,86 kg/cm². Namun pada umur rendaman 35 hari nilai kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada mortar busa dengan jenis perawatan dibungkus plastik sebesar 12,33 kg/cm².

5.8 Modulus Elastis Mortar Busa

Modulus elastisitas mortar busa dengan berbagai jenis air rendaman dan lama waktu rendaman pada penelitian ini diperoleh dari pengolahan data secara analitis, empiris dan grafis. Modulus elastis ditinjau hanya pada durasi rendaman terlama yaitu 35 hari.

5.8.1 Modulus Elastisitas Mortar Busa Berdasarkan Analitis Tegangan dan Regangan (Hukum Hooke)

Modulus elastisitas mortar busa secara analitis dihitung berdasarkan Hukum Hooke, yaitu $E = \text{Tegangan } (\sigma) / \text{Regangan } (\epsilon)$.

Contoh perhitungan untuk rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik adalah sebagai berikut :

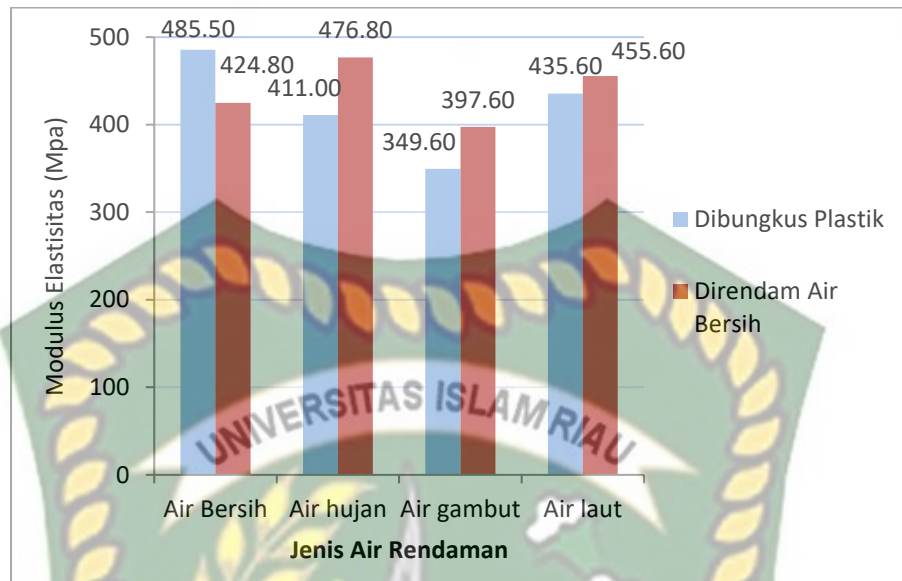
$$E = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\epsilon)} = \frac{9,71 \text{ kg/cm}^2}{2/1000} = 4855 \text{ kg/cm}^2 = 485,50 \text{ Mpa}$$

Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis air rendaman yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel. 5.15 Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan Hukum Hooke

Jenis Perawatan	Jenis Air Rendaman	Tegangan (σ)	Regangan	Modulus Elastisitas $E = \sigma / (\epsilon \times 10^{-3})$	
		(kg/cm ²)		(kg/cm ²)	(Mpa)
Dibungkus Plastik	Air Bersih	9,71	2	4855,00	485,50
	Air hujan	12,33	3	4110,00	411,00
	Air gambut	8,74	2,5	3496,00	349,60
	Air laut	10,890	2,5	4356,00	435,60
Direndam Air Bersih	Air Bersih	10,62	2,5	4248,00	424,80
	Air hujan	11,92	2,5	4768,00	476,80
	Air gambut	9,94	2,5	3976,00	397,60
	Air laut	11,39	2,5	4556,00	455,60

Tabel 5.15 menunjukkan nilai modulus elastis mortar busa pada waktu perendaman 35 hari berdasarkan analitis tegangan dan regangan. Untuk mempermudah pembacaan Tabel 5.15, nilai modulus elastisitas mortar busa berdasarkan analitis tegangan dan regangan juga dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa untuk lama waktu perendaman 35 hari (Hukum Hooke)

Pada Gambar 5.10 terlihat bahwa modulus elastis mortar busa terbesar pada durasi perendaman 35 hari adalah pada rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik yaitu sebesar 485,50 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa mortar busa dengan rendaman air bersih (perawatan dibungkus plastik) memiliki sifat material yang paling kaku dibandingkan dengan yang lain.

5.8.2 Modulus Elastisitas Mortar Busa Berdasarkan Rumus Empiris

Perhitungan modulus elastis mortar busa secara empiris dilakukan dengan menggunakan rumus SK SNI T-15 1991-03, yaitu $E_c = 0,043 W_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$.

Contoh perhitungan untuk rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik adalah sebagai berikut :

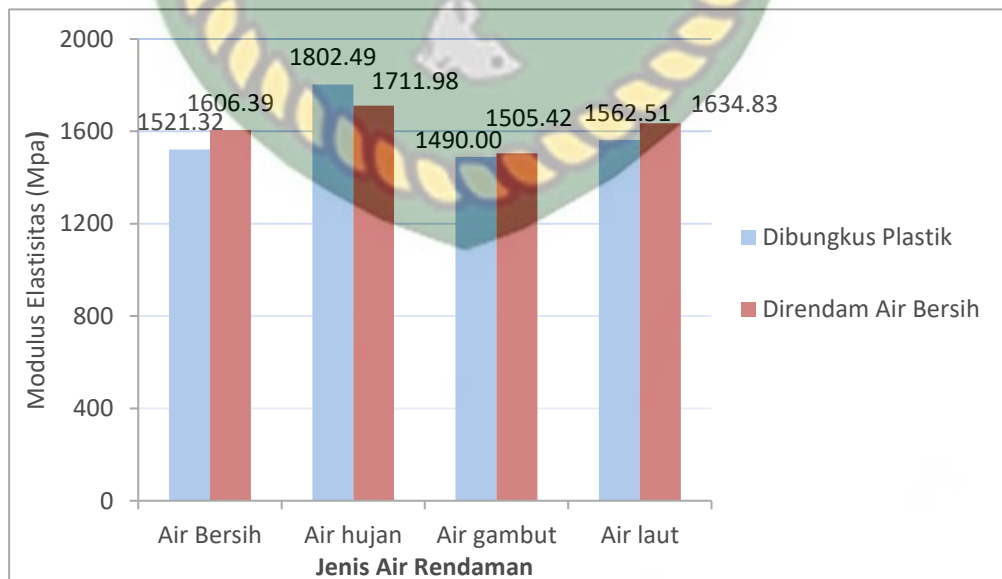
$$E_c = 0,043 W_c^{1,5} \sqrt{f'_c} = 0,043 \cdot (1088,33)^{1,5} \sqrt{0,971} = 1521,53 \text{ Mpa.}$$

Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis air rendaman yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan SK SNI T-15 1991-03

Jenis Perawatan	Jenis Air Rendaman	Tegangan ($f'c$)		Berat Isi (W_c) (kg/m ³)	Modulus Elastisitas ($E_c = 0,043 \cdot W_c^{1,5} \sqrt{f'c}$) (Mpa)
		(kg/cm ²)	(Mpa)		
Dibungkus Plastik	Air Bersih	9,71	0,971	1088,33	1521,32
	Air hujan	12,33	1,233	1125,33	1802,49
	Air gambut	8,74	0,874	1111,67	1490,00
	Air laut	10,89	1,089	1066,33	1562,51
Direndam Air Bersih	Air Bersih	10,62	1,062	1095,33	1606,39
	Air hujan	11,92	1,192	1099,67	1711,98
	Air gambut	9,94	0,994	1072,33	1505,42
	Air laut	11,39	1,139	1082,67	1634,83

Tabel 5.16 menunjukkan nilai modulus elastis mortar busa pada umur 35 hari berdasarkan rumus empiris dari SK SNI T-15 1991-03. Untuk mempermudah pembacaan Tabel 5.16, data modulus elastisitas mortar busa juga dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu perendaman 35 hari (SK SNI T-15 1991-03)

Pada Gambar 5.11 terlihat bahwa modulus elastis mortar busa terbesar pada durasi perendaman 35 hari adalah pada rendaman air hujan dengan perawatan dibungkus plastik yaitu sebesar 1802,49 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa mortar busa dengan rendaman air hujan (perawatan dibungkus plastik) memiliki sifat material yang paling kaku dibandingkan dengan yang lain.

5.8.3 Modulus Elastisitas Mortar Busa Dengan Metode Grafis

Perhitungan modulus elastis mortar busa dengan metode grafis dilakukan dengan metode Eurocode 2-1992 dan ASTM C469.

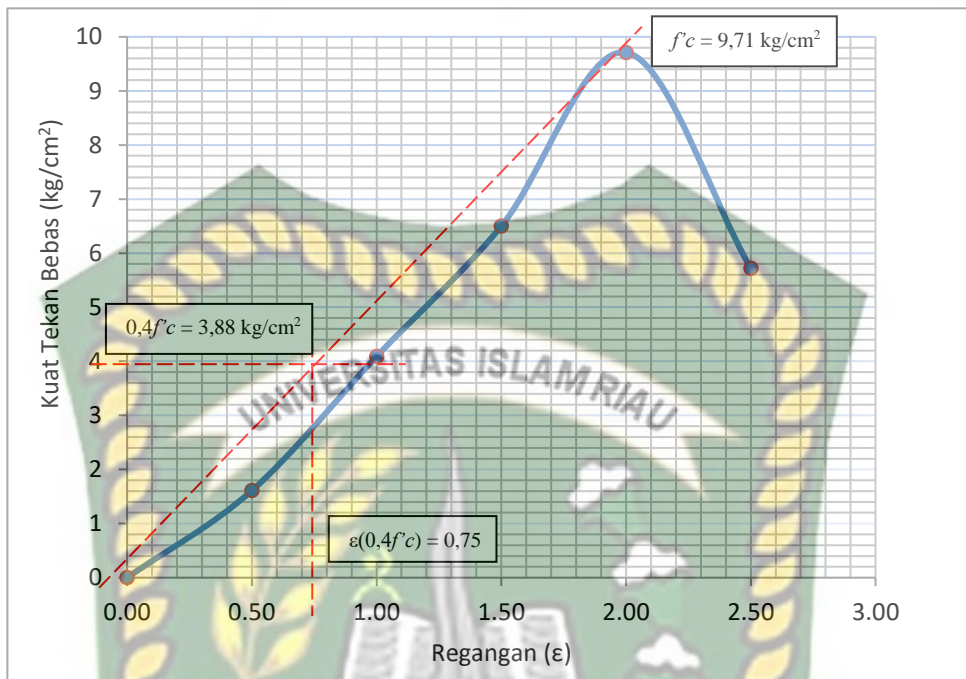
1. Modulus elastisitas mortar busa dengan metode Eurocode 2-1992

Nilai modulus elastisitas mortar busa berdasarkan metode Eurocode 2-1992 dihitung dengan rumus $E_c = \frac{0,4 f'c}{\varepsilon(0,4 f'c)}$.

Contoh perhitungan untuk rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik adalah sebagai berikut :

$$E_c = \frac{(0,4 \times 9,71)}{0,75} = 5178,67 \text{ kg/cm}^2 = 517,87 \text{ Mpa}$$

Cara memperoleh nilai $\varepsilon(0,4 f'c)$ dilakukan secara grafis, dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Metode grafis Eurocode 2-1992

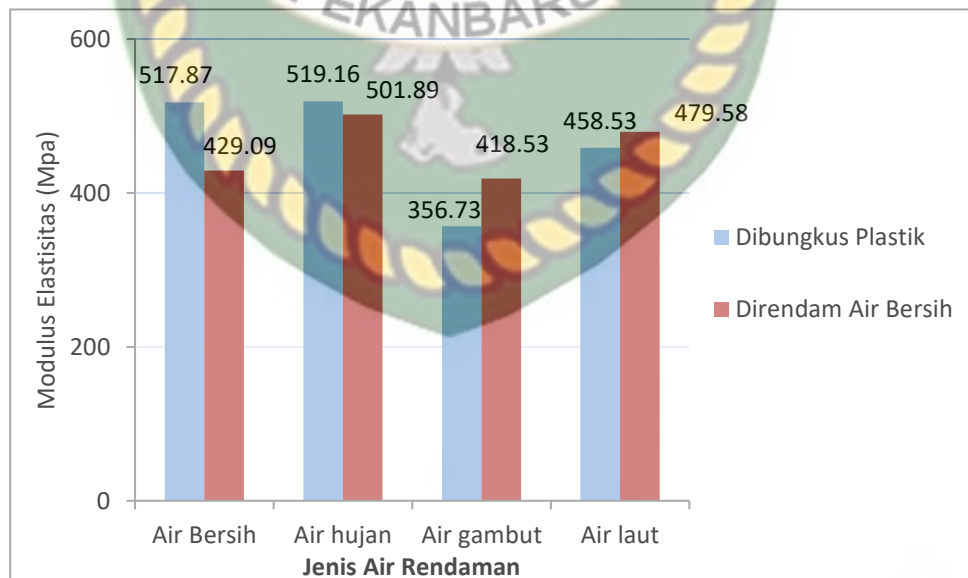
Gambar 5.12 menunjukkan langkah-langkah metode grafis dalam menentukan nilai $\epsilon(0,4f'_c)$ pada rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik. Nilai $\epsilon(0,4f'_c)$ yang diperoleh adalah 0,75. Selanjutnya nilai tersebut dimasukkan ke dalam rumus sehingga dihasilkan nilai modulus elastis 517,87 Mpa.

Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis air rendaman yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Modulus elastis mortar busa berdasarkan metode Eurocode 2-1992

Jenis Perawatan	Jenis Air Rendaman	Kuat Tekan Bebas ($f'c$)	$0,4 f'c$	$\varepsilon 0,4 f'c \times 10^{-3}$	Modulus Elastisitas ($E_c = 0,4.f'c / (0,4 f'c)$)	
		(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)		(Kg/cm ²)	(Mpa)
Dibungkus Plastik	Air Bersih	9,71	3,88	0,75	5178,67	517,87
	Air hujan	12,33	4,93	0,95	5191,58	519,16
	Air gambut	8,74	3,50	0,98	3567,35	356,73
	Air laut	10,89	4,36	0,95	4585,26	458,53
Direndam Air Bersih	Air Bersih	10,62	4,25	0,99	4290,91	429,09
	Air hujan	11,92	4,77	0,95	5018,95	501,89
	Air gambut	9,94	3,98	0,95	4185,26	418,53
	Air laut	11,39	4,56	0,95	4795,79	479,58

Tabel 5.17 menunjukkan nilai modulus elastis mortar busa pada lama waktu rendaman 35 hari berdasarkan metode grafis Eurocode 2-1992. Untuk mempermudah pembacaan Tabel 5.17, data modulus elastisitas mortar busa juga dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu rendaman 35 hari (Eurocode 2-1992)

Pada Gambar 5.13 terlihat bahwa modulus elastis mortar busa terbesar pada durasi perendaman 35 hari adalah pada rendaman air hujan dengan perawatan dibungkus plastik yaitu sebesar 519,16 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa mortar busa dengan rendaman air hujan (perawatan dibungkus plastik) memiliki sifat material yang paling kaku dibandingkan dengan yang lain.

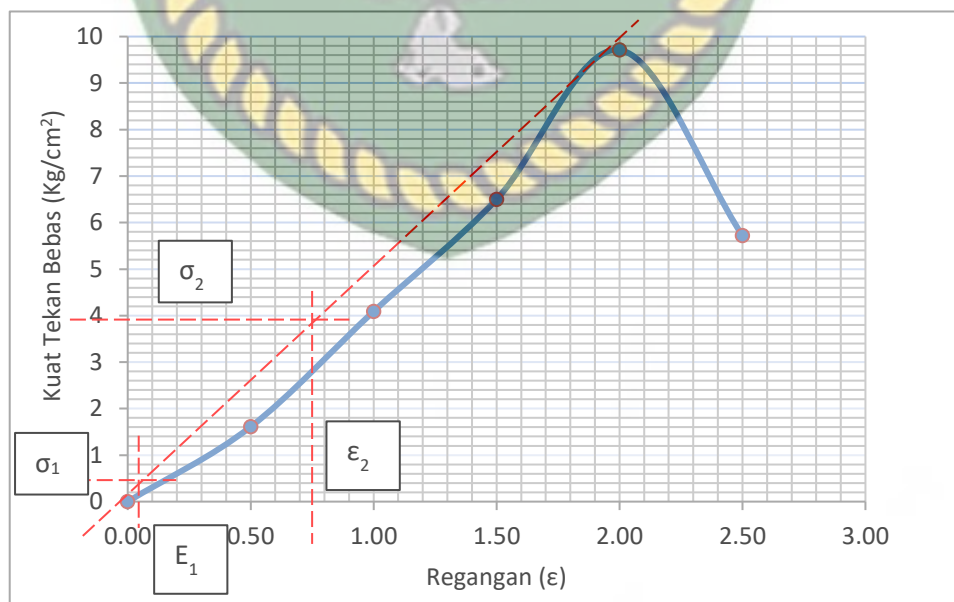
2. Modulus elastisitas mortar busa dengan metode ASTM C469

Nilai modulus elastisitas mortar busa berdasarkan metode ASTM dihitung dengan rumus $Ec = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$.

Contoh perhitungan untuk rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik adalah sebagai berikut :

$$Ec = \frac{(3,88 - 0,4)}{((0,75 \times 10^{-3}) - 0,00005)} = 4977,14 \text{ kg/cm}^2 = 497,14 \text{ Mpa}$$

Cara memperoleh nilai σ_2 , σ_1 dan ϵ_2 dilakukan secara grafis, dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Metode grafis ASTM 469

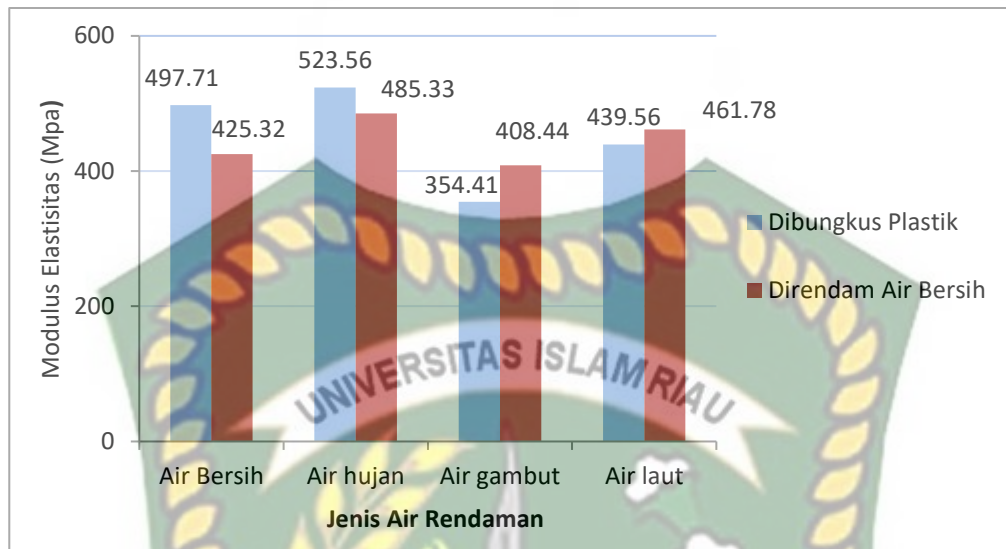
Gambar 5.14 menunjukkan langkah-langkah metode grafis ASTM 469 dalam menentukan nilai σ_2 , σ_1 dan ε_2 pada mortar busa dengan rendaman air bersih (perawatan dibungkus plastik). Nilai σ_2 , σ_1 dan ε_2 yang diperoleh masing-masing secara berturut-turut adalah 3,88; 0,40; dan 0,75. Selanjutnya nilai tersebut dimasukkan ke dalam rumus sehingga dihasilkan nilai modulus elastisitas 497,14 Mpa.

Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis air rendaman yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Modulus elastisitas mortar busa berdasarkan metode ASTM 469

Jenis Perawatan	Jenis Air Rendaman	Kuat Tekan Bebas ($f'c$)	σ_2 ($0,4 f'c$)	ε_2 ($0,4 f'c$) $\times 10^{-3}$	ε_1 $\times 10^{-3}$	σ_1	Modulus Elastisitas ($E_c = 0,4 f'c / \varepsilon(0,4 f'c)$)	
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)			(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(Mpa)
Dibungkus Plastik	Bersih	9,71	3,88	0,75	0,05	0,40	4977,14	497,71
	Hujan	12,33	4,93	0,95	0,05	0,22	5235,56	523,56
	Gambut	8,74	3,50	0,98	0,05	0,20	3544,09	354,41
	Laut	10,89	4,36	0,95	0,05	0,40	4395,56	439,56
Direndam Air Bersih	Bersih	10,62	4,25	0,99	0,05	0,25	4253,19	425,32
	Hujan	11,92	4,77	0,95	0,05	0,40	4853,33	485,33
	Gambut	9,94	3,98	0,95	0,05	0,30	4084,44	408,44
	Laut	11,39	4,56	0,95	0,05	0,40	4617,78	461,78

Tabel 5.18 menunjukkan nilai modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu rendaman 35 hari berdasarkan metode grafis ASTM 469. Untuk mempermudah pembacaan Tabel 5.18, data modulus elastisitas mortar busa juga dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Diagram perbandingan modulus elastisitas mortar busa pada lama waktu rendaman 35 hari (ASTM 469)

Pada Gambar 5.15 terlihat bahwa modulus elastis mortar busa terbesar pada durasi perendaman 35 hari adalah pada rendaman air hujan dengan perawatan dibungkus plastik yaitu sebesar 523,56 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa mortar busa dengan rendaman air hujan (perawatan dibungkus plastik) memiliki sifat material yang paling kaku dibandingkan dengan yang lain.

5.8.4 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Mortar Busa antara Metode Analitis, Empiris dan Grafis

Hasil perhitungan modulus elastisitas mortar busa pada umur rendaman 35 hari dengan menggunakan beberapa metode disajikan dalam Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Perbandingan nilai modulus elastisitas mortar busa antara metode analitis, empiris dan grafis

Jenis Perawatan	Jenis Air Rendaman	Modulus Elastisitas (Mpa)			
		Analitis	Empiris	Grafis	
		Hooke	SK SNI T-15 1991-03	Eurocode 2-1992	ASTM 469
Dibungkus plastik	Air bersih	485,50	1521,32	517,87	497,71
	Air hujan	411,00	1802,49	519,16	523,56
	Air gambut	349,60	1490,00	356,73	354,41
	Air laut	435,60	1562,51	458,53	439,56
Direndam air bersih	Air bersih	424,80	1606,39	429,09	425,32
	Air hujan	476,80	1711,98	501,89	485,33
	Air gambut	397,60	1505,42	418,53	408,44
	Air laut	455,60	1634,83	479,58	461,78

Dari Tabel 5.19 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada hasil perhitungan modulus elastisitas secara analitis dengan empiris, namun hasil perhitungan modulus elastisitas secara analitis dengan grafis tidak terlalu jauh berbeda.

Nilai modulus elastisitas tertinggi secara analitis terjadi pada rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik, sedangkan secara empiris maupun grafis nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan dibungkus plastik.

5.9 Pembahasan Hasil Penelitian

Keseluruhan hasil penelitian yang telah dibahas sebelumnya dirangkum dalam Tabel 5.20.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Hal-hal penting yang dapat dirangkum berdasarkan Tabel 5.20 adalah sebagai berikut :

1. Terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas mortar busa pada lama waktu perendaman 7 hari apabila dibandingkan dengan kuat tekan bebas mortar busa sebelum direndam (umur 14 hari) sehingga keseluruhan nilai kuat tekan bebas mortar busa tidak memenuhi persyaratan kuat tekan minimum untuk lapis fondasi bawah (sub base) $< 8 \text{ kg/cm}^2$. Nilai penurunan kuat tekan bebas tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Penurunan kuat tekan bebas mortar busa pada lama waktu rendaman 7 hari

Jenis Perawatan	Jenis Air Rendaman	Kuat Tekan Bebas Sebelum Direndam	Kuat Tekan Bebas Rendaman 7 Hari	Penurunan (%)
		(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	
Dibungkus plastik	Air bersih	8,87	5,31	-40,14
	Air hujan	8,87	5,43	-38,78
	Air gambut	8,87	6,1	-31,23
	Air laut	8,87	6,4	-27,85
Direndam air bersih	Air bersih	11,22	5,83	-48,04
	Air hujan	11,22	4,67	-58,38
	Air gambut	11,22	7,63	-32,00
	Air laut	11,22	7,87	-29,86

Dari Tabel 5.21 terlihat bahwa penurunan nilai kuat tekan bebas terbesar adalah 58,38% pada rendaman air hujan (perawatan direndam air bersih), sedangkan penurunan terkecil sebesar 27,85% pada rendaman air laut (perawatan dibungkus plastik). Pada Tabel 5,21 juga terlihat bahwa jenis perawatan dengan dibungkus plastik menghasilkan penurunan nilai kuat tekan

bebas yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis perawatan direndam air bersih.

2. Pada perendaman awal (7 dan 14 hari) nilai kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada rendaman air laut yang memiliki sifat basa atau alkalis, namun pada umur rendaman yang lebih tua (21, 28 dan 35 hari) nilai kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada rendaman air bersih dan air hujan yang memiliki sifat asam.
3. Pada perendaman 7, 14, 21 dan 28 hari metode perawatan dengan direndam air bersih menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang tertinggi, namun pada perendaman 35 hari metode perawatan dengan dibungkus plastik sesuai Pedoman Pelaksanaan Timbunan Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan yang dikeluarkan PUPR menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang tertinggi jika dibandingkan dengan metode perawatan direndam air bersih.
4. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh dengan metode analitis memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai yang diperoleh dengan metode grafis, namun memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan nilai yang diperoleh dengan metode empiris. Hal ini disebabkan karena rumus-rumus empiris yang digunakan tersebut khusus diperuntukkan untuk menghitung modulus elastisitas beton, maka sebaiknya perhitungan modulus elastis mortar busa tidak dilakukan dengan metode empiris tetapi menggunakan metode analitis atau grafis.

5. Modulus elastisitas tertinggi menunjukkan sifat material yang paling kaku dibandingkan dengan yang lain. Secara grafis nilai modulus elastisitas berbanding lurus dengan nilai kuat tekan bebas pada saat perendaman 35 hari, yakni semakin tinggi nilai kuat tekan bebas menghasilkan nilai modulus elastisitas semakin tinggi pula. Hal ini tidak berlaku pada modulus elastis yang dihasilkan dengan analisis tegangan-regangan dikarenakan pengaruh nilai regangan (faktor pembagi) yang tidak konstan pada setiap variasi air rendaman.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap benda uji mortar busa yang diperuntukan sebagai pengganti timbunan jalan pada lapisan fondasi bawah (*sub base*) dengan perilaku direndam dalam 4 jenis air yang berbeda selama 7, 14, 21, 28 dan 35 hari setelah sebelumnya dilakukan proses perawatan selama 14 hari dengan 2 jenis metode perawatan yakni dibungkus plastik dan direndam air, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Mortar busa dengan keempat jenis air rendaman mengalami penurunan nilai kuat tekan pada durasi perendaman 7 hari jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar busa sebelum direndam. Penurunan kuat tekan terbesar terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan direndam air bersih, yaitu sebesar 58,38%, sedangkan penurunan kuat tekan terkecil terjadi pada rendaman air gambut dengan perawatan dibungkus plastik, yaitu sebesar 27,85%.
2. Kuat tekan mortar busa pada durasi perendaman terlama yaitu 35 hari memiliki nilai tertinggi jika dibandingkan dengan durasi perendaman yang lebih rendah untuk semua jenis air rendaman dan metode perawatan. Nilai kuat tekan pada umur 35 hari untuk mortar busa dengan perawatan dibungkus plastik pada rendaman air bersih, air hujan, air gambut dan air laut, berturut-turut adalah 9,71 kg/cm², 12,33 kg/cm², 8,74 kg/cm², dan

10,89 kg/cm². Sedangkan nilai kuat tekan pada perendaman 35 hari untuk mortar busa dengan perawatan direndam air bersih pada rendaman air bersih, air hujan, air gambut dan air laut, berturut-turut adalah 10,62 kg/cm², 11,92 kg/cm², 9,94 kg/cm² dan 11,39 kg/cm².

3. Metode perawatan mortar busa dengan dibungkus plastik sesuai dengan Pedoman Pelaksanaan Timbunan Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan yang dikeluarkan PUPR pada durasi perendaman 35 hari menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang tertinggi jika dibandingkan dengan metode perawatan direndam air bersih, sehingga metode perawatan ini yang sebaiknya dilakukan pada mortar busa. Metode perawatan dengan dibungkus plastik menghasilkan penurunan nilai kuat tekan bebas yang lebih kecil daripada metode perawatan direndam air bersih.
4. Nilai modulus elastisitas tertinggi mortar busa pada perendaman 35 hari berdasarkan analitis tegangan-regangan terjadi pada mortar busa dengan rendaman air bersih dengan perawatan dibungkus plastik senilai 485,50 MPa. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan nilai modulus elastisitas tertinggi berdasarkan metode grafis, yaitu 519,87 Mpa (Eurocode 2-1992) dan 497,71 (ASTM 469). Berdasarkan kedua metode grafis ini nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada rendaman air hujan dengan perawatan dibungkus plastik. Nilai modulus elastisitas berdasarkan metode empiris memiliki nilai yang jauh berbeda dengan metode analitis dan grafis.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis menyampaikan beberapa saran yang terkait dengan penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Mortar busa dengan masa perawatan 14 hari sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan (dalam hal ini kondisi kering dan tergenang air), untuk itu sebaiknya penggunaan mortar busa dihindari pada lokasi-lokasi yang sering terjadi perubahan kondisi lingkungan secara drastis, misalnya pada daerah yang sering mengalami pasang surut.
2. Perlu dilakukan penelitian sejenis dengan dengan durasi perawatan yang lebih lama (>14 hari) sebelum mortar busa dimasukkan ke dalam 4 jenis air yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tingkat kematangan (umur) mortar busa terhadap nilai kuat tekan bebasnya apabila terendam air (lingkungan terendam) dan pada kondisi lingkungan yang sering berubah (kering - terendam).
3. Metode perawatan yang digunakan untuk mortar busa sebaiknya mengacu pada Pedoman Pelaksanaan Timbunan Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan yang dikeluarkan PUPR yaitu dibungkus dengan plastik.
4. Perhitungan modulus elastisitas mortar busa sebaiknya menggunakan metode analitis dan grafis, tidak menggunakan metode empiris karena rumus-rumus empiris yang sudah ada lebih dikhususkan untuk menghitung modulus elastisitas beton dengan kondisi-kondisi tertentu.

5. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh jenis air rendaman terhadap kuat tekan mortar busa dan mortar tanpa busa untuk mengetahui mengetahui perilaku antara kedua jenis mortar ini terhadap jenis air rendaman.
6. Perlu dilakukan penelitian yang lebih mendetail lagi mengenai pengaruh umur rendaman pada umur benda uji yang sama, dan sebaliknya pengaruh umur benda uji pada umur rendaman yang sama terhadap nilai kuat tekan mortar busa.
7. Penelitian ini hanya mengamati perilaku mortar busa hingga durasi perendaman maksimal 35 hari, untuk mengetahui bagaimana perilaku mortar busa dengan perendaman > 35 hari (dalam hal ini apakah nilai kuat tekan bebas akan terus meningkat atau tidak) maka perlu dilakukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2008. ASTM C230/C230 M-08, *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*. ASTM International.
- ASTM, 1995. ASTM C-469, *Test Methode for Static Modulus Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International.
- Atamini, H. dan Moestofa, B., 2018, *Evaluasi Stabilitas dan Penurunan Antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan Dengan Timbunan Pilihan Pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung)*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional No.1 Vol.4, Bandung.
- Bahari, S.N. dan Hamdhan, I.N., 2017, *Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Busa (CMP) dalam Perencanaan Flyover Antapani*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional No.4 Vol.3, Bandung.
- Eurocode 2, 1992, *Design of Concrete Structure*.
- Fadilah, R. dan Hamdhan, I.N., 2017, *Analisis Stabilitas dan Penurunan Pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional No.2 Vol.3, Bandung.

Fadillah. M.L. dkk, 2017, *Densitas, Nilai Slump, Dan Kuat Tekan Beton OPC Dan OPC POFA Dengan Campuran Air Gambut Terpapar Di Lingkungan Gambut*, Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau Volume 4 No.2 Oktober 2017.

Febrijanto, R., 2008, *Laporan Akhir Penyusunan DED Uji Coba Skala Penuh Timbunan Badan Jalan Dengan Material Ringan*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Departemen Pekerjaan Umum.

FHWA (Federal Highway Administration), 2016, *Geotechnical Aspect of Pavements*, Reference Manual/Participant Workbook, Publication No. FHWA NHI-05-037, U.S. Depart of Transportation Federal Highway Administration.

Hardiyatmo, H.C., 2011, *Perancangan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Hidayat dkk, 2016, *Analisis Material Ringan Dengan Mortar Busa Pada Konstruksi Timbunan Jalan*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta.

Hadikusumah, 2008, *Pengantar Oceanografi*, UI Press, Jakarta.

Hadipurwo, 2006 dalam Flysh Geost, 2016, *Pengertian, Jenis , Manfaat dan Pencemaran Air Tanah*,
<https://www.geologinesia.com/2016/03/pengertian-jenis-manfaat-dan-pencemaran-air-tanah.html>.

- Handayani, F., 2007, *Timbunan Badan Jalan Dengan Bahan Timbunan Ringan*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum.
- Hidayat dan Suhendra, 2011, *Aplikasi Geofom Sebagai Material Timbunan Di Atas Tanah Lunak*, ComTech Vol.2 No. 1 Juni 2011: 106-116, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Binus University, Jakarta Barat.
- Iqbal. M., 2012, *Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar Busa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Kanginan, M., 2005, *Fisika*. Erlangga, Jakarta.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2017, *Kandungan Zat Kimia yang Terdapat Pada Air Hujan*, <http://pusatkrisis.kemkes.go.id/kandungan-zat-kimia-yang-terdapat-pada-air-hujan>.
- Kemen. PU, 2011, *Konsensus R0 Pedoman Perencanaan Timbunan Jalan dengan Menggunakan Material Ringan Beton Busa*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kemen. PUPR, 2015, *Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kemen. PUPR, 2015, *Pedoman Perancangan Campuran Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kemen. PUPR, 2015, *Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kemen. PUPR, 2015, *Pelaksanaan Timbunan Material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kimpraswil, 2002b, Pt T-10-2002-B, *Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Kimpraswil).

Kusnaedi, 2006, *Mengolah Air Gambut dan Kotor Untuk Air Minum*, Penebar Swadaya, Jakarta.

Samsuhadi dan Yopi, Y., 2013, *Studi Penentuan Desain Campuran Material Ringan Mortar Busa Pada Oprit Jembatan*, Politeknik Negeri Bandung.

SCDOT, 2008. *Chapter 10 Geotechnical Performance Limit*, Final SCDOT Geotechnical Manual.

SK SNI T-15-1991-03, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.

SNI 03-1750-1990, *Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.

SNI 03-6825-2002, *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.

SNI 15-0302-2004, *Semen Portland Pozzolan*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.

SNI 3638 : 2012, *Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.

Syarkawi, 2019, *Perbandingan Penggunaan Berbagai Merk Semen Terhadap Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Material Ringan Mortar Busa*, Tesis Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

Tjokrodinuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Vaza, H., 2015, *Teknologi Material Ringan Mortar-Busa Untuk Jalan di Atas Tanah Lunak*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.