

TESIS

PENGARUH PEMAKAIAN JENIS AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS MATERIAL RINGAN MORTAR BUSA SEBAGAI BAHAN PENGGANTI URUGAN PILIHAN PADA KONSTRUKSI JALAN

Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mencapai
Magister Teknik (MT)



OLEH :

NAMA : HERMANTO

NOMOR MAHASISWA : 173121003

BIDANG KAJIAN UTAMA : GEOTEKNIK DAN JALAN RAYA

PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

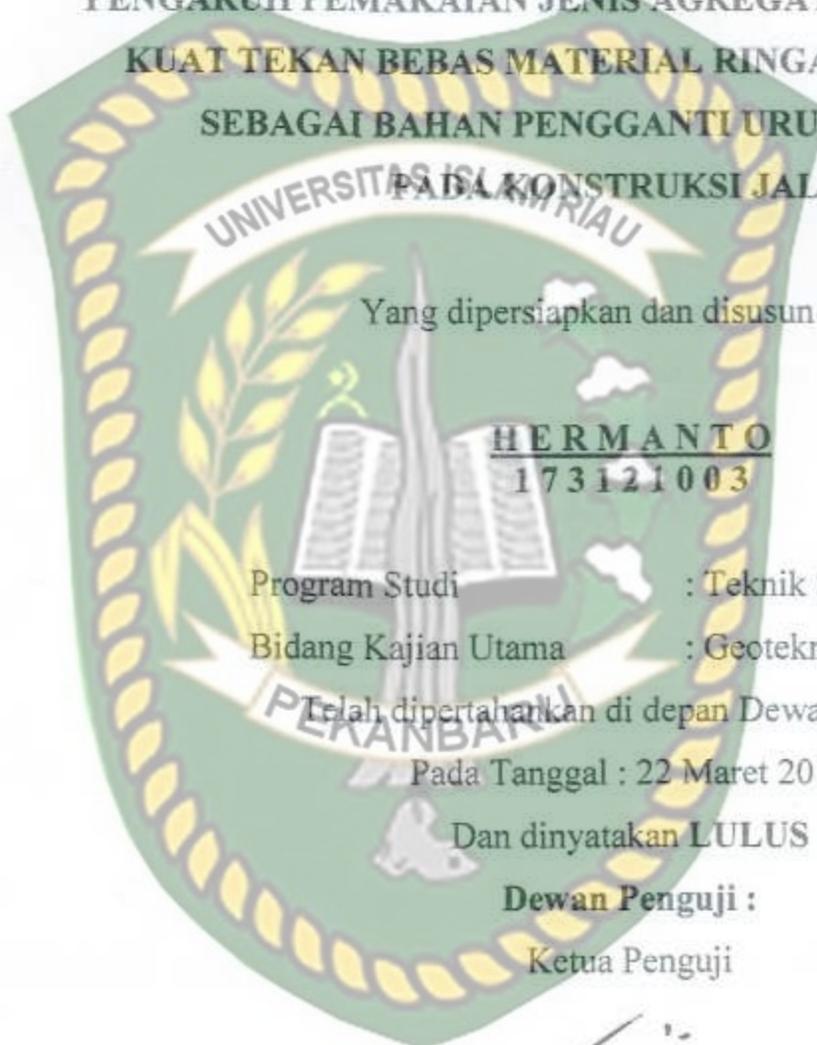
PEKANBARU

2019

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

PENGARUH PEMAKAIAN JENIS AGREGAT HALUS TERHADAP
KUAT TEKAN BEBAS MATERIAL RINGAN MORTAR BUSA
SEBAGAI BAHAN PENGGANTI URUGAN PILIHAN
PADA KONSTRUKSI JALAN



Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

HERMANTO
173121003

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

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal : 22 Maret 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 Pascasarjana Universitas Islam Riau



Dr. Ir. Saiful Bahri, MEc.

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

PENGARUH PEMAKAIAN JENIS AGREGAT HALUS TERHADAP
KUAT TEKAN BEBAS MATERIAL RINGAN MORTAR BUSA
SEBAGAI BAHAN PENGGANTI URUGAN PILIHAN
PADA KONSTRUKSI JALAN



Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

HERMANTO
173121003

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama :

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

Tanda Tangan

Tanggal : 30-03-2019

Pembimbing Pendamping :

Dr. Elizar, ST.MT.

Tanda Tangan

Tanggal : 30 Maret 2019

Mengetahui :

Dr. Anas Puri, ST. MT.

Ketua Program Magister Teknik Sipil
Universitas Islam Riau

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu 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, 25 Maret 2019

HERMANTO
NPM :173121003



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur diucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini dengan judul Pengaruh Pemakaian Jenis Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Bebas Material Ringan Mortar Busa Sebagai Bahan Pengganti Urugan Pilihan Pada Konstruksi Jalan . Adapun penulisan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi kurikulum akademis dalam rangka untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau Pekanbaru.

Penulisan Tesis ini dilakukan karena penulis ingin mengetahui proses pembuatan dan pengujian material ringan mortar busa mulai dari awal hingga akhir secara langsung dan mendalam. Disamping itu penulis juga ingin mengetahui perbandingan kuat tekan bebas (*UCS*) dari material ringan mortar busa yang menggunakan beberapa bahan campuran agregat halus yang berbeda sumber dan jenisnya, sehingga diharapkan dapat menentukan agregat halus dari mana saja sumbernya (*quarry*) yang bisa dipakai yang sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan oleh Pusjatan Direktorat Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih terdapat kekurangan di sana sini dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan

tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkannya, terutama kepada penulis sendiri. Wassalamualaikum Warohmatullahi Wabarakatuh.

Pekanbaru, 25 Maret 2019



HERMANTO
NPM :173121003

Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur diucapkan kehadirat Allah SWT Tuhan yang maha pengasih dan maha penyayang yang telah melimpahkan karunia dan rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini dengan judul Pengaruh Pemakaian Jenis Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Bebas Material Ringan Mortar Busa Sebagai Bahan Pengganti Urugan Pilihan Pada Konstruksi Jalan . Penulisan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi salah syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

Dalam pelaksanaan penelitian dan pembuatan tesis ini terdapat banyak kesulitan dan kendala yang dihadapi. Untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang sudah turut serta memberikan bantuan terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH. MCL. selaku Rektor Universitas Islam Riau beserta staf.
2. Bapak Dr. Saipul Bahri MEc. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau beserta staf.
3. Bapak Dr. Anas Puri, ST. MT, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau beserta staf.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT, selaku Guru Besar Teknik Sipil Universitas Islam Riau sekaligus sebagai dosen pembimbing utama dalam penulisan Tesis ini.

5. Ibu Dr. Elizar, ST. MT, selaku dosen pembimbing pendamping dalam penulisan tesis ini.
6. Pimpinan dan staf Laboratorium PT. Semangat Hasrat Tata Jaya, Proyek Pembangunan *Flyover* Simpang Mal SKA Pekanbaru.
7. Pimpinan dan staf pengelola Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Rekan-rekan satu kelompok penelitian dan rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
9. Laila Hariyani dan Ade Putri Hermala istri dan anak tercinta yang senantiasa mendorong dan mendoakan penulis serta semua pihak yang telah turut berpartisipasi baik secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkannya, terutama kepada penulis sendiri. Wassalamualaikum Warohmatullahi Wabarakatuh.

Pekanbaru, 25 Maret 2019

HERMANTO
NPM :173121003

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN-I.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN-II.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
ABSTRAK.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Keaslian Penelitian	9
2.3 Pemakaian Material Mortar Busa Pada Proyek	9
BAB 3. LANDASAN TEORI	11
3.1	Jalan Raya 11
3.2	Timbunan Oprit
Jembatan	14

3.3 Stabilisasi Tanah.....	15
3.4 Material Ringan Mortar Busa	17
3.4.1 Kriteria Mortar Busa	17
3.4.2 Keunggulan Mortar Busa Dibandingkan dengan <i>Sand Cement</i> dan <i>Soil Cement</i>	19
3.4.3 Material Campuran Mortar Busa	20
3.4.3.1 Semen	21
3.4.3.2 Agregat Halus (Pasir)	24
3.4.3.3 Air	28
3.4.3.4 Busa (<i>Foam Agent</i>)	30
3.4.4 Perancangan Komposisi Campuran Mortar Busa	30
3.4.5 Pembuatan Mortar Busa	32
3.4.6 Pengujian Mortar Busa	34
3.4.6.1 Berat Isi (<i>Density</i>).....	34
3.4.6.2 Kelecekan (<i>Flow</i>)	34
3.4.6.3 Angka Pori	35
3.4.6.4 Kuat Tekan Bebas.....	35
3.4.6.5 Modulus Elastisitas Mortar Busa.....	37
3.5 Hipotesis	41

BAB 4. METODE PENELITIAN 43

4.1 Umum	43
4.2 Lokasi Penelitian	43
4.3 Bahan dan Alat Penelitian	43
4.3.1 Bahan Penelitian	43
4.3.2 Peralatan Penelitian	44

4.4 Tahapan Penelitian	48
4.5 Proses Pelaksanaan Penelitian	52
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
5.1 Hasil Pemeriksaan Material.....	59
5.1.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus.....	59
5.1.2 Rancangan Campuran Adukan Mortar	61
5.1.3 Hasil Pengujian Nilai <i>Flow</i>	62
5.1.4 Hasil Pengujian Angka Pori	63
5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (<i>UCS</i>) Mortar Busa Berbagai <i>Quarry</i> Pasir	64
5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (<i>UCS</i>) Tanpa Perawatan	70
5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (<i>UCS</i>) Semen Jenis OPC	71
5.5 Perbandingan Kuat Tekan Bebas	73
5.5.1 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Masing-Masing Jenis Pasir Berdasarkan Umur	73
5.5.2 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Yang Dirawat dengan Yang Tidak Dirawat	74
5.5.3 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Memakai Semen Padang Jenis PPC dan OPC	75
5.5.4 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Umur 14 hari dengan 28 hari.	77
5.6 Hubungan Kuat Tekan Bebas dengan Nilai <i>Flow</i>	78
5.7 Hubungan Kuat Tekan Bebas dengan Angka Pori	80
5.8 Modulus Elastisitas.....	81
5.8.1 Modulus Elastisitas Mortar Busa Metode Analitis Tegangan-Regangan.....	81

5.8.2	Modulus Elastisitas Mortar Busa Metode Grafis	82
5.8.3	Perbandingan Modulus Elastisitas Mortar Busa Memakai Metode Analitis dan Grafis	86
5.9	Pembahasan Hasil.....	86
5.9.1	Pengaruh Kadar Lumpur Pasir Terhadap Kuat Tekan Bebas Mortar Busa	87
5.9.2	Pengaruh Kandungan Kimia Semen PPC dan OPC Terhadap Kuat Tekan Bebas Mortar Busa	88
5.9.3	Pengaruh Sifat Fisik Agregat Halus Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Mortar Busa	89
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....		91
6.1	Kesimpulan	91
6.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		95
Lampiran - Lampiran		

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Kekuatan Stabilitas Tanah dengan Semen	16
Tabel 3.2	Kriteria Desain Mortar Busa Untuk Bangunan Jalan.....	18
Tabel 3.3	Jenis Semen yang Diproduksi Mengikuti Standar SNI.....	21
Tabel 3.4	Batasan Susunan Butiran Agregat Halus	25
Tabel 3.5	Gradasi Pasir untuk Mortar Busa	26
Tabel 5.1	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus.....	59
Tabel 5.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Persentase Lolos Agregat Halus	60
Tabel 5.3	Hasil Rancangan Campuran Mortar Busa 800 kPa untuk 1 M ³	62
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Nilai <i>Flow</i> Rata-Rata	63
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Angka Pori Rata-Rata	63
Tabel 5.6	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang.....	64
Tabel 5.7	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Taratak Buluh.....	65
Tabel 5.8	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tembilahan.....	67
Tabel 5.9	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Kulim.....	68
Tabel 5.10	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tjg. Balai Karimun.....	69
Tabel 5.11	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang tanpa Perawatan.....	70
Tabel 5.12	Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang dengan Semen Padang Tipe I Jenis OPC	72
Tabel 5.13	Perbandingan Kuat Tekan Bebas (<i>UCS</i>) Mortar Busa Menurut Umur	73
Tabel 5.14	Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa yang Dirawat dengan Tidak Dirawat (Khusus Pasir Sungai Danau Bingkuang)	74
Tabel 5.15	Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Memakai Semen PPC dan Semen OPC (Khusus Pasir Sungai Danau Bingkuang)	76
Tabel 5.16	Perbandingan Kuat Tekan Bebas Umur 14 hari dengan 28 hari ...	77
Tabel 5.17	Hubungan Kuat Tekan Bebas Dengan Nilai <i>Flow</i> (Khusus Memakai Pasir Danau Bingkuang)	78
Tabel 5.18	Hubungan Kuat Tekan Bebas dengan Angka Pori (Khusus Memakai Pasir Danau Bingkuang)	80
Tabel 5.19	Modulus Elastisitas Mortar Busa dengan Berbagai Jenis Pasir Berdasarkan Metode Analitis Tegangan- Regangan.....	82

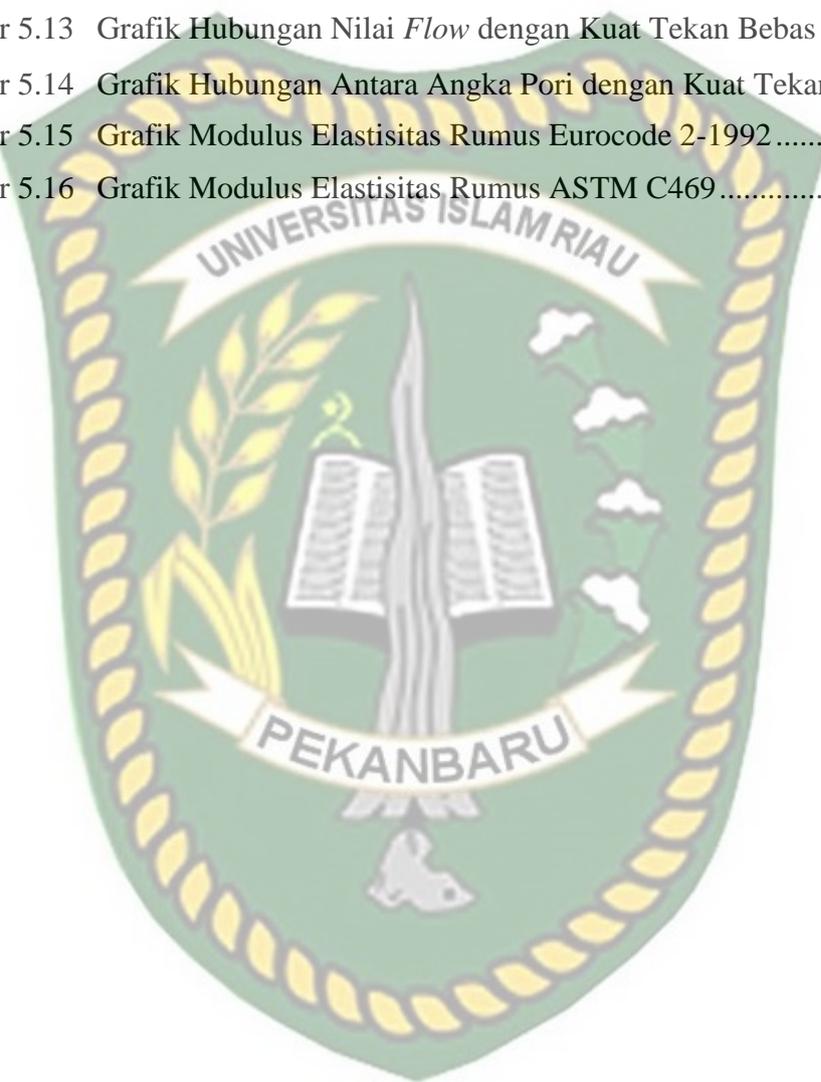
Tabel 5.20	Modulus Elastisitas Mortar Busa dengan Berbagai Jenis Pasir Berdasarkan Rumus Eurocode 2-1992.....	84
Tabel 5.21	Modulus Elastisitas Mortar Busa dengan Berbagai Jenis Pasir Berdasarkan Rumus ASTM C469	85
Tabel 5.22	Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Mortar Busa Memakai Berbagai Metode	86
Tabel 5.23	Perbandingan Kadar Lumpur Agregat Halus	87
Tabel 5.24	Perbandingan Kandungan Kimia Semen PPC dan OPC	88
Tabel 5.25	Hasil Pengujian dan Perhitungan Material Ringan Mortar Busa ..	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Potongan Melintang Struktur Perkerasan Jalan (PU,1987).....	14
Gambar 3.2	Grafik Hubungan Antara CBR dan Kadar Semen, Kuat Tekan Bebas dan Kadar Semen Umur 7 Hari (Hardiyatmo,2010)	16
Gambar 3.3	Lapisan Konstruksi Jalan Memakai Timbunan Mortar Busa (PUPERA, 2015).....	19
Gambar 4.1	<i>Foam Agent</i> Produksi Samacon Kemasan Drum	44
Gambar 4.2	Alat Timbangan Digital.....	45
Gambar 4.3	Alat Pembangkit Busa (<i>Foam Generator</i>) dan <i>Air Compressor</i>	45
Gambar 4.4	Alat Pengaduk Mortar (molen mini)	46
Gambar 4.5	Alat Uji <i>Flow</i> (Kelecekan)	46
Gambar 4.6	Alat Uji Kuat Tekan Bebas (<i>UCS</i>)	47
Gambar 4.7	Oven Listrik.....	47
Gambar 4.8	Bagan Alir Tahapan Penelitian	51
Gambar 4.9	Penimbangan Busa	53
Gambar 4.10	Pencampuran Mortar dan Busa dalam Mixer.....	54
Gambar 4.11	Pengecekan Kelecekan (<i>Flow</i>).....	55
Gambar 4.12	Penimbangan Benda Uji untuk Pengujian Densitas Basah	55
Gambar 4.13	Pencetakan Benda Uji dan Perawatan Benda Uji.....	56
Gambar 4.14	Pengujian Kuat Tekan Bebas (<i>UCS</i>)	57
Gambar 5.1	Grafik Gradasi Agregat Halus Zona 2 (SK. SNI T-15-1990-03) ..	61
Gambar 5.2	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang	65
Gambar 5.3	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Teratak Buluh	66
Gambar 5.4	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tembilahan	67
Gambar 5.5	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Kulim	68
Gambar 5.6	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tjg. Balai Karimun	69
Gambar 5.7	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang tanpa Perawatan	71
Gambar 5.8	Grafik Hasil Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang dan Semen OPC	72
Gambar 5.9	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Menurut Umur	74

Gambar 5.10	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa yang Dirawat dan Tidak Dirawat.....	75
Gambar 5.11	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pemakaian Semen PPC dan Semen OPC	76
Gambar 5.12	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Umur 14 hari dengan Umur 28 hari	78
Gambar 5.13	Grafik Hubungan Nilai <i>Flow</i> dengan Kuat Tekan Bebas	79
Gambar 5.14	Grafik Hubungan Antara Angka Pori dengan Kuat Tekan Bebas	81
Gambar 5.15	Grafik Modulus Elastisitas Rumus Eurocode 2-1992.....	83
Gambar 5.16	Grafik Modulus Elastisitas Rumus ASTM C469.....	85



PENGARUH PEMAKAIAN JENIS AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS MATERIAL RINGAN MORTAR BUSA SEBAGAI BAHAN PENGGANTI URUGAN PILIHAN PADA KONSTRUKSI JALAN

HERMANTO

NPM. 173121003

ABSTRAK

Masalah utama yang sering ditemukan pada tanah lunak dan gambut adalah masalah kestabilan konstruksi dan penurunan (*settlement*). Urugan tanah biasa di atas tanah lunak atau gambut selalu bermasalah akibat berat urugan itu sendiri, dimana tanah dasar tidak mampu untuk menahannya sehingga urugan masuk ke dalam tanah dan kestabilan timbunan tidak mantap. Dengan memakai material ringan mortar busa persoalan beratnya urugan dapat diatasi karena mortar busa sangat ringan dibandingkan dengan material urugan lainnya dan gaya lateral timbunan tidak ada karena mortar busa berperilaku seperti beton. Penelitian ini untuk mengetahui perbandingan kuat tekan bebas mortar busa dengan menggunakan beberapa variasi jenis agregat halus.

Pasir yang dipakai adalah pasir sungai Danau Bingkuang, pasir sungai Teratak Buluh, pasir sungai Tembilahan, pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru dan pasir laut Tjg. Balai Karimun. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total benda uji 125 buah. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton 10 cm x 20 cm. Pelaksanaan pengujian mengikuti petunjuk teknis yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian PUPERA. Mutu mortar busa direncanakan untuk pondasi sub base $f_c = 800$ kPa. Uji kuat tekan bebas dilakukan pada umur benda uji 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Dari hasil penelitian didapat Angka pori rata-rata mortar busa yang terbesar adalah yang menggunakan pasir darat/cuci Kulim 0,246 dan yang terkecil pasir laut Tjg. Balai Karimun 0,113. Kuat tekan mortar busa naik seiring pertambahan umur yang tertinggi pada umur 28 hari adalah yang menggunakan pasir sungai Teratak Buluh 11,65 kg/cm² dan yang terendah pasir darat Kulim 3,31 kg/cm². Mortar busa yang memakai jenis semen PPC lebih tinggi kuat tekan bebasnya daripada jenis semen OPC disemua umur antara 8-31%. Kuat tekan bebas mortar busa yang dirawat lebih tinggi daripada yang tidak dirawat hampir disemua umur antara 4-18 %. Nilai modulus elastisitas umur 28 hari yang tertinggi adalah mortar busa yang memakai pasir sungai Danau Bingkuang 4.365,8 kg/cm² dan yang terendah adalah pasir darat/cuci Kulim 1.323,6 kg/cm². Pasir sungai Teratak Buluh dan pasir sungai Danau Bingkuang bisa dipakai sebagai campuran material ringan mortar busa, sedangkan pasir sungai Tembilahan, pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru dan pasir laut Tj. Balai Karimun tidak bisa dipakai karena hasil uji kuat tekan bebasnya tidak memenuhi spesifikasi Pusjatan Kementerian PUPERA yakni dibawah 800 kPa pada umur 14 hari.

Kata kunci : Penurunan, Mortar busa, kuat tekan bebas.

**THE EFFECT OF USE OF FINE AGGREGATES ON STRONGLY FREE
PRESSING MORTAR FOAM LIGHT MATERIAL AS A MATERIAL
FOR REPLACEMENT OF OPTIONS ON ROAD CONSTRUCTION**

HERMANTO
NPM. 173121003

ABSTRACT

The main problem that is often found in soft soil and peat is the problem of construction stability and settlement. The use of ordinary soil on soft or peat soil is always problematic due to the weight of the soil itself, where the subgrade is unable to hold it so that the deposits enter the soil and the stability of the stock is not stable. Using lightweight foam mortar materials the problem of weight loss can be overcome because foam mortar is very light compared to other fill material and the lateral force of the embankment is not present because foam mortar behaves like concrete. This study was to determine the ratio of foam mortar free compressive strength by using several types of fine aggregate types.

The sand used is the river sand of Danau Binguang, Teratak Buluh river sand, Tembilahan river sand, Kulim Pekanbaru sand land and sea sand Tj. Balai Karimun. This study uses an experimental method with a total of 125 test pieces. The test object used is a concrete cylinder 10 cm x 20 cm. The testing followed the technical instructions issued by the Ministry of PUPERA Pusjatan. Foam mortar quality is planned for sub base $f_c = 800$ kPa foundation. Free compressive strength test was carried out on the age of specimens 3, 7, 14, 21 and 28 days..

From the results of the study obtained the average pore number of the largest foam mortar is that using Kulim land sand 0.246 and the smallest sea sand Tj. Balai Karimun 0.113. Foam mortar compressive strength increased as the highest age increase at 28 days was using Teratak Buluh river sand 11.65 kg / cm² and the lowest Kulim land sand 3.31 kg / cm². Mortar foam using PPC cement type is higher in free compressive strength than OPC cement types in all ages between 8-31%. Foam mortar-free compressive strength treated was higher than that not treated almost in all ages between 4-18%. The highest modulus of elasticity at 28 days of age was foam mortar using Danau Binguang river sand 4.365,8 kg / cm² and the lowest was Kulim land sand 1.323,6 kg / cm². Teratak river sand Reeds and river sand Danau Binguang can be used as a mixture of lightweight foam mortar materials, while the Tembilahan river sand, Kulim Pekanbaru sand land and sea sand Tj. Balai Karimun cannot be used because the results of the free compressive strength test do not meet the Ministry of PUPERA's specifications, which is below 800 kPa at the age of 14 days.

Keywords: Decrease, Mortar foam, free compressive strength.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan pembangunan jalan dan jembatan disuatu kawasan/daerah sangat tergantung dari kondisi lingkungannya baik geografis, iklim, ketersediaan material, sumber daya manusia dan unsur lainnya. Perpaduan antara profesionalitas sumber daya manusia, ketersediaan material, teknologi yang dipakai serta peralatan yang ada merupakan suatu keniscayaan dalam meujudkan pembangunan yang dibutuhkan oleh banyak pihak .

Jenis tanah yang sering menimbulkan masalah selama pembangunan suatu struktur maupun menimbulkan kerusakan pada konstruksi jalan *existing* digolongkan pada tanah problematik. Secara umum, tanah problematik ditemukan pada jenis tanah *ekspansif*, tanah lunak, dan gambut. Masalah utama yang banyak ditemukan pada tanah lunak adalah masalah kestabilan konstruksi dan penurunan (*settlement*). Masalah lain yang sering timbul adalah masa konstruksi yang lama, biaya konstruksi dan pemeliharaan yang mahal. Pembangunan infrastruktur di atas jenis tanah ini, jika tidak direncanakan dengan baik melalui pengenalan karakteristik yang akurat dapat berpotensi mengakibatkan kegagalan bangunan (Iqbal, 2012).

Wilayah Provinsi Riau menurut Wild Water Indonesia Region Riau (2017), merupakan wilayah yang memiliki lahan gambut yang paling luas di Pulau Sumatera yakni mencapai 4,044 juta hektar dengan persentase 56,1% dari luas lahan gambut di Pulau Sumatera atau 45% dari luas dataran Provinsi Riau.

Urugan di atas tanah lunak dan gambut baik untuk pondasi bawah (*sub base*) atau pondasi atas (*base*) konstruksi jalan maupun urugan timbunan oprit jembatan selalu bermasalah akibat berat urugan itu sendiri yang besar sehingga material urugan akan masuk ke dalam tanah dasar yang lunak atau gambut yang pada akhirnya akan membutuhkan jumlah urugan yang sangat besar serta kestabilan timbunan yang tidak mantap.

Dewasa ini ditemukan suatu teknologi bahan yang dinamakan dengan material ringan mortar busa yang mempunyai kekuatan yang tinggi, berat isi yang ringan dan pelaksanaan pekerjaan yang lebih mudah. Dengan memakai material ringan mortar busa persoalan beratnya urugan dapat diatasi karena mortar busa sangat ringan dibandingkan dengan material urugan lainnya. Demikian juga dalam hal pengerjaannya pemakaian material ringan mortar busa lebih cepat penyelesaiannya daripada pemakaian tanah urugan pilihan atau stabilisasi tanah lainnya (Handayani, 2007). Material ringan mortar busa mempunyai karakteristik berat isi yang ringan dengan kekuatan yang cukup tinggi dengan densitas kering 7- 8 kN/m³, dan kuat tekan bebas minimal 800 kPa, sehingga diharapkan tidak terjadi masalah stabilitas dan penurunan timbunan maupun tekanan lateral berlebih pada abutmen jembatan dan juga pada konstruksi jalan (Kemen PU, 2011).

Material ringan mortar busa terdiri dari campuran semen, agregat halus (pasir), air dan busa (*foam*). Di daerah Provinsi Riau umumnya terdapat berbagai jenis pasir yang biasa dipakai sebagai bahan campuran beton dan mortar dalam jumlah yang besar, namun masing-masing jenis pasir tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan jenis dan lokasi penambangannya. Pasir

- pasir ini dapat dipergunakan sebagai bahan campuran mortar busa. Namun demikian perlu penelitian terlebih dahulu untuk mengetahui apakah jenis-jenis pasir ini memenuhi spesifikasi mortar busa yang salah satunya adalah kuat tekan minimumnya. Dengan demikian teknonogi mortar busa di samping bisa menjadi solusi timbunan di atas tanah lunak juga dapat memberikan peluang pekerjaan baru terhadap masyarakat tempatan karena pasir yang ada di daerah mereka dapat dipakai sebagai bahan campuran mortar busa. Maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh jenis agregat halus terhadap kuat tekan bebas mortar busa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut :

1. Bagaimana angka pori rata-rata mortar busa jika menggunakan jenis agregat halus yang berbeda ?
2. Bagaimana kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari jika menggunakan berbagai variasi jenis agregat halus ?
3. Bagaimana perbandingan kuat tekan bebas mortar busa yang dirawat dengan yang tidak dirawat yang menggunakan jenis agregat halus dan jenis semen yang sama ?
4. Bagaimana perbandingan kuat tekan bebas mortar busa yang menggunakan jenis agregat halus yang sama tetapi memakai jenis semen yang berbeda ?
5. Bagaimana perbandingan nilai modulus elastisitas rata-rata mortar busa umur 28 hari yang menggunakan berbagai variasi jenis agregat halus ?
6. Bagaimana agregat halus yang bisa dipergunakan untuk campuran mortar busa khusus untuk lapisan pondasi bawah (*sub base*) dan timbunan oprit jembatan

dengan kriteria kuat tekan bebas minimum sesuai dengan spesifikasi Pusjatan Kementerian PUPERA 800 kPa pada umur 14 hari ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan angka pori rata-rata mortar busa jika menggunakan jenis agregat halus yang berbeda
2. Menentukan kuat tekan bebas rata-rata mortar busa pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari jika menggunakan berbagai variasi jenis agregat halus
3. Menentukan perbandingan kuat tekan bebas mortar busa yang dirawat dengan yang tidak dirawat yang menggunakan jenis agregat halus dan jenis semen yang sama
4. Menentukan perbandingan kuat tekan bebas mortar busa yang menggunakan jenis agregat halus yang sama tetapi memakai jenis semen yang berbeda
5. Menentukan perbandingan nilai modulus elastisitas rata-rata mortar busa umur 28 hari yang menggunakan berbagai variasi jenis agregat halus.
6. Menentukan agregat halus yang bisa dipergunakan untuk campuran mortar busa khusus untuk lapisan pondasi bawah (*sub base*) dan timbunan oprit jembatan, kriteria dengan kuat tekan bebas minimum sesuai dengan spesifikasi Pusjatan Kementerian PUPERA 800 kPa pada umur 14 hari.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan untuk menambah ilmu pengetahuan dan memperkaya pengalaman terkait penggunaan material ringan mortar busa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi

tambahan tentang pemanfaatan material ringan mortar busa sebagai bahan alternatif pengganti timbunan pada konstruksi jalan.

Selain itu penelitian ini diharapkan juga dapat memberikan nilai tambah dari beberapa sudut pandang yaitu :

1. Memberikan tambahan wawasan dalam menentukan kuat tekan bebas mortar busa dengan menggunakan berbagai jenis agregat halus.
2. Memberikan masukan kepada Pemerintah/pemangku kepentingan dalam menentukan jenis agregat halus yang terbaik dalam arti kuat, relatif murah dan mudah dilaksanakan serta banyak terdapat di sekitar lokasi pekerjaan yang akan dipakai sebagai bahan campuran mortar busa untuk bahan timbunan pengganti urugan yang dipakai dalam konstruksi jalan dan oprit jembatan khususnya diatas tanah lunak atau gambut.
3. Dari sudut pandang masyarakat agar dapat memberikan gambaran tentang mortar busa yang dapat dipakai sebagai alternatif bahan timbunan yang kuat dan ringan pada konstruksi jalan di atas tanah lunak atau gambut, dimana berbagai jenis pasir yang ada memungkinkan untuk dipergunakan sebagai bahan campuran mortar busa tersebut. Sehingga diharapkan dapat membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat sekitar lokasi pekerjaan.
4. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan terkait mortar busa di masa yang akan datang.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal dan terfokus pada masalah yang sedang diteliti, maka peneliti memberikan batasan penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini tidak meneliti kandungan kimia yang terdapat pada semen, pasir, air maupun *foam agent* yang dipakai.
2. Penelitian ini tidak menghitung biaya pemakaian mortar busa
3. Semen yang dipakai adalah Semen Padang PPC tipe I
4. Agregat halus (pasir) yang digunakan adalah
 - a. Pasir laut (Tanjung Balai Karimun)
 - b. Pasir sungai (Danau Bingkuang, Teratak Buluh, Tembilahan)
 - c. Pasir darat/cuci (Kulim Pekanbaru)
5. *Foam agent* yang digunakan adalah produksi Samacon kemasan drum 200 liter dengan nilai target standard $0,080 \text{ t/m}^3$.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berkaitan dengan material ringan mortar busa telah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu antara lain, Hidayat (2016), Fadilah (2016), Bahari (2017), Atamini (2018), Vaza (2010).

Hidayat (2016), telah meneliti material mortar busa dengan judul Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa Pada Konstruksi Timbunan Jalan ., dengan metode Elemen Hingga. Hasilnya menunjukkan penurunan tanah dasar akibat konstruksi timbunan konvensional mengalami penurunan sebesar 6810 mm, sedangkan dengan menggunakan mortar busa akibat beban merata sebesar 39,9 mm dan akibat beban terpusat 98,3 mm.

Fadilah (2016), telah meneliti material mortar busa dengan judul Analisis Stabilitas dan Penurunan Pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga , dengan memakai metode Analisa Elemen Hingga. Hasilnya menunjukkan penggunaan material ringan 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. Diperoleh nilai faktor keamanan (SF) = 6,1 dan besar penurunan sebesar 102 cm selama 12 tahun yang menyerupai kondisi aktual di lapangan.

Bahari (2017), telah meneliti material ringan mortar busa dengan judul Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP)

dalam Perencanaan *Flyover* Antapani , dengan menggunakan metode analisis Elemen Hingga Plaxis 3 D. Hasilnya menunjukkan timbunan dengan menggunakan mortar busa dapat mengurangi besarnya penurunan yang terjadi dibandingkan dengan teknologi konvensional. Dari hasil analisis dengan menggunakan Plaxis 3D didapat bahwa penurunan seketika pada pondasi *flyover* Antapani di kota Bandung berada pada rentang 8,79 mm – 12,73 mm, sehingga penurunan seketika memenuhi standar ijin sebesar 25,4 mm.

Atamini (2018), telah meneliti material mortar busa dengan judul Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus : *Flyover* Antapani, Kota Bandung) , dengan metode Elemen Hingga memakai Plaxis Profesional 8.6 . Hasilnya menunjukkan penggunaan timbunan ringan menghasilkan nilai penurunan sebesar 3,53 cm dan faktor keamanan (FK) 2,74, sedangkan untuk timbunan pilihan nilai penurunannya sebesar 13,79 cm dengan faktor keamanan (FK) 1,36. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan timbunan ringan diatas tanah lunak akan menghasilkan penurunan lebih kecil (< 74,4%) dengan faktor keamanan lebih besar (>50,36%) dibandingkan dengan timbunan pilihan.

Vaza, (2010), dengan judul Teknologi Material Ringan Mortar Busa Untuk Jalan Di atas Tanah Lunak , dengan menggunakan metode Uji Skala Penuh, hasilnya kondisi timbunan oprit jembatan Kedaton setelah 3 tahun anggaran pasca konstruksi, menunjukkan hampir tidak ada penurunan jalan (< 1 mm) dan belum pernah dilakukan *overlay* perkerasan jalan.

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai material ringan mortar busa yang telah dilakukan peneliti – peneliti sebelumnya antara lain Vaza (2010), Hidayat (2016), Fadilah (2016), Bahari (2017), Atamini (2018). adalah bertujuan menganalisis penurunan tanah dasar yang disebabkan oleh berat sendiri timbunan, baik yang dilakukan dengan Metode Skala Penuh maupun dengan menggunakan Metode Elemen Hingga.

Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya adalah penelitian ini dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan nilai kekuatan dari Uji Kuat Tekan Bebas (*UCS*) material ringan mortar busa dengan menggunakan semen jenis dan tipe yang sama dan agregat halus yang berbeda baik jenisnya maupun asal agregat halus tersebut dengan menggunakan *mix design* yang sama. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan data perencanaan terkait penggunaan berbagai jenis agregat halus yang banyak dan sering dipakai di daerah Provinsi Riau pada umumnya.

2.3 Pemakaian Material Mortar Busa Pada Proyek

Penggunaan teknologi material ringan mortar busa di Indonesia sudah banyak yang berhasil antara lain :

1. Oprit Jembatan Kedaton Cirebon, Jawa Barat, arah Cirebon-Indramayu, pelaksanaan tahun 2009
2. Ruas Jalan Pangkalan Lima-Kumai, Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah, pelaksanaan pekerjaan tahun 2010.
3. Oprit Jembatan E kang, Kepulauan Riau, pelaksanaan pekerjaan tahun 2012

4. Oprit Jembatan Anculai, Kepulauan Riau, pelaksanaan pekerjaan tahun 2013
5. Oprit Jembatan Kangboi, Kepulauan Riau, pelaksanaan pekerjaan tahun 2013
6. Oprit *Flyover* Simpang Mal SKA dan Oprit *Flyover* Simpang Pasar Pagi Pekanbaru, Riau sedang dalam pelaksanaan pekerjaan tahun 2018.

Sementara pekerjaan mortar busa yang telah dilaksanakan di luar negeri khususnya di Jepang (Handayani, 2007) :

1. *Tomei Express Highway Construction Project (Shizuoka Pref.Japan), Application Purpose. Lightweight Embanking For Steep Slope, Wet Density 6 kn/M³, UCS Qu28 = 1,000 Kn/m³, Volume 4,000 m³.*
2. *Road Restoration Project After Noto Peninsula Earthquake Disaster (Ishikawa Pref.Japan), Application Purpose. Rapid Embanking For Steep Slope, Stable Embanking Against Disaster, Wet Density 5.3 & 5.8 Kn/m³, UCS Qu28 = 500 & 800 Kn/m³, Volume 3,000m³.*
3. *Tohoku Central Highway Construction Project (Yamagata Pref.Japan), Application Purpose Reduction Of The Earth Pressure Behind Bridge Abutment, Wet Density 6 Kn/M³, UCS Qu28 = 1,000 Kn/M³, Volume 15,534 m³.*
4. *Project Name Haneda Tokyo Internasional Airport, New International Terminal Area Preparation Project-Protection Of Underground Train Tunnel Due To Embanking Work, Application Purpose. Reduction Of Increment Load By Filling Works, Wet Density = 11 Kn/m³, UCS Qu = 200 Kn/m³, Volume 32,220 m³.*

BAB 3. LANDASAN TEORI

3.1 Jalan Raya

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

Perkerasan jalan raya dibuat berlapis-lapis bertujuan untuk menerima beban kendaraan yang melaluinya dan meneruskan ke lapisan di bawahnya. Biasanya material yang digunakan pada lapisan-lapisan perkerasan jalan semakin ke bawah akan semakin berkurang kualitasnya. Hal ini karena lapisan yang berada di bawah lebih sedikit menerima beban, atau menahan beban lebih ringan. Pada umumnya perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas sebagai berikut (PU,1987) :

1. Lapisan Tanah Dasar (*Sub grade*)

Lapisan perkerasan jalan berfungsi untuk menerima beban lalu-lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya terus ke tanah dasar. Sedangkan lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR). Daya dukung tanah

dasar dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan tanah, kadar air, sistim drainase dan lain-lain (PU,1987).

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dan lain lain. (PU,1987).

Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas :

- a. Lapisan tanah dasar, tanah galian.
- b. Lapisan tanah dasar, tanah urugan.
- c. Lapisan tanah dasar, tanah asli.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.

2. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai : (PU,1987)

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.

- b. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- c. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
- d. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan.
- e. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari pengaruh cuaca terutama hujan.

3. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan pondasi atas ini berfungsi sebagai : (PU,1987)

- a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- b. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Dalam penentuan bahan lapis pondasi ini perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain, kecukupan bahan setempat, harga, volume pekerjaan dan jarak angkut bahan ke lapangan.

4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai (PU,1987) :

- a. Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.
- b. Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus).

- c. Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.

Struktur lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Potongan Melintang Struktur Perkerasan Jalan (PU,1987)

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwasanya tebal lapisan dari bawah ke atas semakin kecil namun kualitas perkerasannya semakin tinggi.

3.2 Timbunan Oprit Jembatan

Oprit jembatan merupakan bagian yang menghubungkan antara jalan dengan kepala jembatan. Timbunan oprit mulai dari ujung perkerasan jalan melalui transisi kelandaian (*point of tangent*) sampai kepala jembatan sesuai dengan ketentuan Daerah Milik Jalan (Damija) (SNI 03-2850.1992). Persyaratan timbunan untuk oprit jembatan adalah sebagai berikut (Kimpraswil,2002) :

- a. Harus mempunyai kemampuan untuk menyebarkan beban lalu lintas yang berulang tanpa mengalami deformasi atau penurunan yang berarti akibat beban lalu lintas dan beban timbunan itu sendiri.
- b. Harus mempunyai stabilitas yang cukup terhadap faktor perusak seperti curah hujan, air rembesan dan gempa.

Permasalahan yang sering terjadi pada oprit jembatan atau timbunan jalan pendekat jembatan antara lain (Iqbal, 2012) :

1. Kurang sempurnanya saat pelaksanaan pemadatan
2. Terjadi penurunan
3. Perubahan tegangan efektif akibat keluarnya air

Hal-hal yang sering terjadi pada oprit jembatan adalah penurunan akibat konsolidasi dan kombinasi material (Kimpraswil, 2002). Pemilihan material yang tepat, pelaksanaan pemadatan yang baik serta beban lalu lintas yang sesuai dengan beban rencana akan membuat timbunan oprit jembatan bisa bertahan lama sesuai dengan umur rencana.

3.3 Stabilisasi Tanah

Dalam menyelesaikan masalah tanah dasar yang lunak atau gambut ada beberapa cara yang bisa dipakai untuk meningkatkan daya dukung dari tanah tersebut sehingga mampu untuk menahan beban di atasnya. Hal ini bisa dilakukan dengan mengganti material yang ada dengan material yang didatangkan dan juga bisa dengan menstabilisasi tanah yang ada dengan material lain. Semen tanah (*soil cement*) dan pasir semen (*sand cement*) merupakan alternatif yang telah dilakukan selama ini untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar.

1. Semen Tanah

Semen tanah atau *Soil Cement* adalah hasil pencampuran tanah, semen dan air, yang dengan tingkat pemadatan tertentu akan menghasilkan suatu campuran material baru, *soil cement*, yang mana dikarenakan kekuatannya, karakteristik ketahanan terhadap air, panas dan pengaruh cuaca lainnya adalah sangat

baik. Lapisan pondasi semen tanah juga merupakan salah satu konstruksi jalan yang berbiaya rendah dengan kualitas yang mumpuni, namun memiliki berat besar. Tata cara pembuatan rencana stabilisasi tanah dengan semen Portland untuk jalan memakai standard SNI 03-3438-1994. Kriteria untuk perbaikan tanah pondasi disesuaikan dengan keperluan menurut ketentuan yang berlaku yaitu :

- a. Kuat tekan bebas : untuk tanah kohesif
- b. CBR : untuk tanah berbutir.

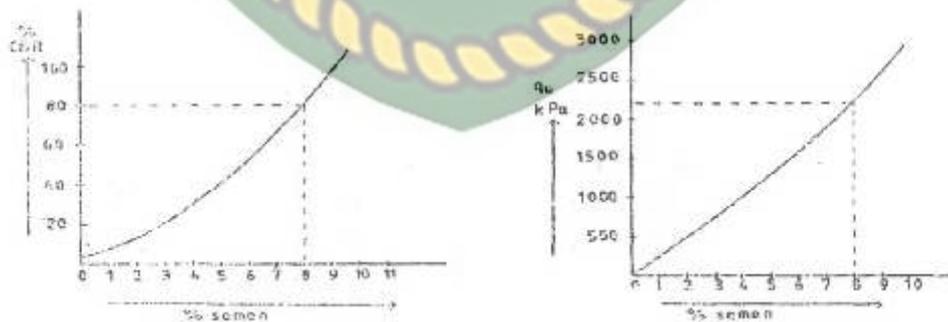
Kuat tekan bebas tanah yang distabilisasi dengan semen dipersyaratkan sebagaimana dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kekuatan Stabilitas Tanah dengan Semen

Uraian	Kuat tekan bebas (kPa)	CBR %
Lapis pondasi atas (LPA) 7 hari	2200	80
Lapis pondasi bawah (LPB) 7 hari	600	20

Sumber : Hardiyatmo (2010)

Tabel 3.1 terlihat bahwa kuat tekan bebas untuk lapis pondasi atas pada umur 7 hari sebesar 2200 kPa dan untuk lapis pondasi bawah sebesar 600 kPa. Hubungan antara pemakaian kadar semen dengan CBR dan kuat tekan bebas dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara CBR dan Kadar Semen, Kuat Tekan Bebas dan Kadar Semen Umur 7 Hari (Hardiyatmo,2010)

Dari Gambar 3.2 terlihat bahwa kenaikan persentase kadar semen diikuti dengan kenaikan nilai CBR tanah serta kenaikan daya dukung (q_u) tanah.

2. Pasir semen

Alternatif lain yang dilakukan untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar adalah dengan menstabilisasi pasir dan semen (*sand cement*). *Sand cement* adalah campuran pasir dan semen dengan perbandingan tertentu yang digunakan sebagai bahan stabilisasi dari tanah lunak atau lempung lunak. Pada stabilisasi tanah lunak menggunakan pasir dimaksudkan untuk mengukur perubahan indeks plastisitas (PI). Dengan menambahkan pasir terhadap lempung lunak (halus) menjadikan PI semakin meningkat sehingga penambahan semen terhadap tanah yang PI nya tersebut relatif cukup besar sehingga dapat dipergunakan sebagai pondasi pada konstruksi jalan (Hardiyatmo, 2010). Pemakaian pasir semen untuk pondasi jalan tidak terlalu menguntungkan karena berat massa pasir semen cukup tinggi, hal ini akan memberatkan tanah dasar yang lunak.

3.4 Material Ringan Mortar Busa

Material ringan mortar busa adalah material menyerupai beton yang terdiri dari campuran material pasir, semen, air dan cairan busa, dan berfungsi sebagai bahan pengganti timbunan tanah dengan densitas kering 7 – 8 kN/m³, dan kuat tekan bebas minimal 800 kPa. Material ini dapat digunakan sebagai timbunan untuk konstruksi jalan yang dimaksudkan untuk mengurangi beban timbunan.

3.4.1 Kriteria Mortar Busa

Berdasarkan kajian literatur JICA *expert* perihal pemanfaatan *foam* untuk membentuk bahan timbunan jalan dengan mortar busa diperoleh kriteria sebagai berikut (Handayani, 2007)

1. Mempunyai berat yang ringan, sehingga nilai kepadatan dari material campuran mortar busa tersebut mempunyai nilai densitas 0,5 – 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 padat 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.

Untuk menghasilkan material ringan yang memenuhi persyaratan, maka dibuatlah desain timbunan ringan dengan mortar busa untuk bangunan jalan dengan kriteria desain seperti dalam Tabel 3.2.

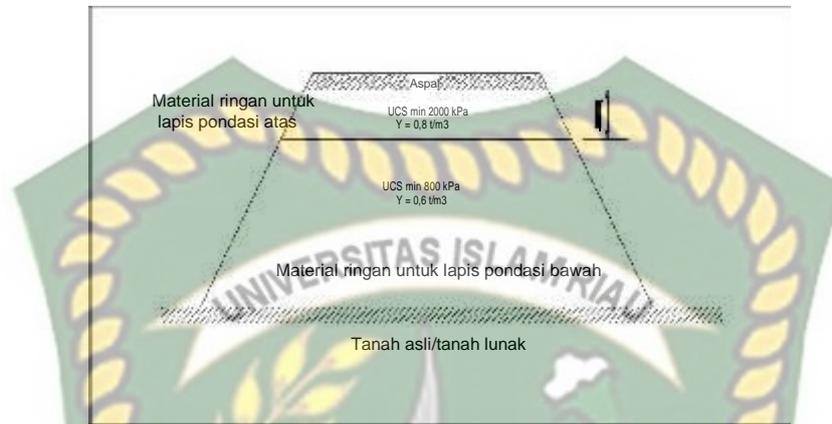
Tabel 3.2 Kriteria Desain Mortar Busa Untuk Bangunan Jalan

No.	Desain Mix Formula	Kuat Tekan Minimum 14 hari		Densitas Kering Maksimum (gr/cm ³)
		kPa	Kg/cm ²	
1	Lapis pondasi bawah atau <i>sub base</i>	800	8	0,6
2	Lapis pondasi atas atau <i>base</i>	2.000	20	0,8

Sumber : PUPERA, 2015

Pada Tabel 3.2 terlihat bahwa kriteria desain untuk pondasi bawah dan pondasi atas yang terbuat dari mortar busa ditentukan kuat tekan bebasnya yaitu untuk lapis pondasi bawah minimum 800 kPa dan untuk lapis pondasi atas 2.000 kPa.

Pemakaian material ringan mortar busa pada konstruksi jalan sebagai bahan lapis pondasi bawah dan pondasi atas serta besaran nilai kuat tekan bebas mortar busa untuk masing-masing jenis pondasi dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Lapisan Konstruksi Jalan Memakai Timbunan Mortar Busa (PUPERA, 2015)

Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa material ringan mortar busa dapat dipakai pada lapis pondasi bawah dengan besar kuat tekan bebas minimum 800 kPa dan untuk pada lapis pondasi atas dengan besar kuat tekan bebas minimum 2000 kPa. Lapisan mortar busa langsung ditempatkan diatas permukaan tanah asli.

3.4.2 Keunggulan Mortar Busa Dibandingkan dengan *Sand Cement* dan *Soil Cement*

Untuk pemakaian timbunan tanah (oprit jembatan) dan lapis pondasi konstruksi jalan, material mortar busa mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan stabilisasi tanah dengan semen (*soil cement*) dan stabilisasi pasir dengan semen (*sand cement*), antara lain (Handayani, 2007) :

1. Mortar busa mempunyai berat isi yang ringan (800 kg/m³ – 900 kg/m³) sementara *sand cement* dan *soil cement* mempunyai berat isi diatas 1500 kg/m³. Sehingga mortar busa dapat mengurangi beban yang ditahan oleh tanah dasar sampai 50 % dari berat *sand cement* atau *soil cement*.

2. Pelaksanaan pekerjaan mortar busa jauh lebih mudah dibandingkan dengan pelaksanaan pekerjaan penimbunan *sand cement* dan *soil cement*. Mortar busa dikerjakan dengan cara penyemprotan per layer 1 m, dan tidak perlu lagi pemadatan, mortar busa bisa memadat sendiri seperti beton. Sementara *sand cement* dan *soil cement* pada pelaksanaannya harus dilakukan pemadatan per layer 20-30 cm, dan ini tentunya membutuhkan tambahan peralatan pemadatan.

Beberapa pemanfaatan bahan material ringan mortar busa digunakan untuk mengatasi berbagai masalah geoteknik lainnya seperti untuk mengurangi tekanan tanah akibat beban antara lain (Febrijanto, 2008) :

1. Pada timbunan di belakang konstruksi abutment jembatan (*backfilling material for bridge abutment*)
2. Pada konstruksi stabilitas lereng dimana diperlukan lereng tegak (*for steel slope*)
3. Pada timbunan di atas tanah sehingga diperoleh timbunan yang beratnya relatif ringan dan tidak menimbulkan dampak tekanan tanah akibat beban sendiri.

3.4.3 Material Campuran Mortar Busa

Material ringan mortar busa terdiri dari beberapa macam bahan (semen, pasir, air dan busa) yang dicampur menjadi satu dan homogen sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar spesifikasi yang sudah ditetapkan.

3.4.3.1 Semen

Semen merupakan bahan bangunan yang digunakan untuk merekat, melapis, membuat beton. Bahan mentah yang digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur, pasir silika, tanah liat dan pasir besi. Total kebutuhan bahan mentah yang digunakan untuk memproduksi semen yaitu (SNI 15-0302-2004) :

1. Batu kapur digunakan sebanyak $\pm 81 \%$.
2. Pasir silika digunakan sebanyak $\pm 9 \%$
3. Tanah liat digunakan sebanyak $\pm 9 \%$.
4. Pasir besi digunakan sebanyak $\pm 1 \%$.

Pada penggilingan akhir digunakan gipsium sebanyak 3-5% dari berat total pembuatan semen. Pemakaian berbagai jenis semen harus sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan seperti dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jenis Semen yang Diproduksi Mengikuti Standar SNI

NO. SNI	N A M A
SNI 15-0129-2004	Semen portland putih
SNI 15-0302-2004	Semen portland pozolan / Portland Pozzolan Cement (PPC)
SNI 15-2049-2004	Semen portland / Ordinary Portland Cement (OPC)
SNI 15-3500-2004	Semen portland campur
SNI 15-3758-2004	Semen masonry
SNI 15-7064-2004	Semen portland komposit/Portland Cement Composite

Sumber : SNI, 2004

Tabel 3.3 memperlihatkan bahwasanya masing-masing jenis dan tipe semen yang diperuntukkan secara khusus mempunyai standar tertentu pula. Khusus penggunaan untuk campuran mortar busa dalam penelitian ini memakai Semen Portland Pozolan / *Portland Pozzolan Cement* (PPC) (SNI 15-0302-2004) dan Semen Portland / *Ordinary Portland Cement* (OPC) (SNI 15-2049-2004).

1. Semen Portland / *Ordinary Portland Cement* (OPC)

Bahan dasar Semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silica, alumina, dan oksida besi yaitu (Tjokrodinuljo,1992) yaitu :

- | | |
|---|-----------|
| a) Kapur, CaO | = 60-65 % |
| b) Silika, SiO ₂ | = 17-25 % |
| c) Alumina, Al ₂ O ₃ | = 3-8 % |
| d) Besi, Fe ₂ O ₃ | = 0,5-6 % |
| e) Magnesia, MgO | = 0,5-4 % |
| f) Sulfur, SO ₃ | = 1-2 % |
| g) Soda atau potash, Na ₂ O + K ₂ O | = 0,5-1 % |

Namun pada dasarnya terdapat empat senyawa paling penting dalam Semen Portland. Keempat senyawa tersebut ialah (Sebayang, Surya. 2000) :

- | | |
|---|--------|
| a. Trikalsium silikat (C ₃ S) atau 3CaO.SiO ₂ | = 50 % |
| b. Dikalsium silikat (C ₂ S) atau 2CaO.SiO ₂ | = 25 % |
| c. Trikalsium aluminat (C ₃ A) atau 3CaO.Al ₂ O ₃ | = 12 % |
| d. Tetrakalsium aluminoforit (C ₄ AF) atau 4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ | = 8 % |
| e. Kalsium sulfat dihidrat (gypsum) (CSH ₂) atau CaSO ₄ .2H ₂ O | = 3,5% |

2. Semen Portland Pozolan/*Portland Pozzolan Cement* (PPC)

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

adalah bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (Tjokrodimuljo,1992). Dengan demikian semen PPC adalah semen OPC yang ditambah dengan bahan pozolan seperti *flyash* atau pozolan alam. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Perwitasari (2005), kandungan *flyash* dalam semen PPC bisa dibuat dengan campuran 20% *flyash* terhadap OPC.

Dipasaran jenis semen yang paling banyak dijumpai dan dipasarkan adalah jenis Semen Portland. Ada beberapa tipe Semen Portland sesuai SII 0013-81

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*) ; Semen Portland tipe ini digunakan untuk segala macam konstruksi apabila tidak diperlukan sifat-sifat khusus, misalnya tahan terhadap sulfat, panas hidrasi, dan sebagainya.
2. Tipe II (*Moderate Heat Portland Cement*) ; Semen ini digunakan untuk bahan konstruksi yang memerlukan sifat khusus tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
3. Tipe III (*High Early Strength Portland Cement*) ; Semen ini merupakan semen yang digunakan biasanya dalam keadaan-keadaan darurat dan musim dingin. Digunakan juga pada pembuatan beton tekan.
4. Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*) ; Semen tipe ini digunakan pada bangunan dengan tingkat panas hidrasi yang rendah misalnya pada bangunan beton yang besar dan tebal, baik sekali untuk mencegah keretakan.

5. Tipe V (*Super Sulphated Cement*) ; Semen yang sangat tahan terhadap pengaruh sulphat, misalnya pada tempat pengeboran lepas pantai, pelabuhan, dan terowongan .(Tjokrodimulyo, 1996).

3.4.3.2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Agregat ini berukuran 0,063 mm — 4,76 mm yang meliputi pasir kasar (*Coarse Sand*) dan pasir halus (*Fine Sand*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus. Agregat halus harus memenuhi syarat (SNI 03-6821-2002) :

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam, keras, dan bersifat kekal artinya tidak hancur oleh pengaruh cuaca dan temperatur, seperti terik matahari hujan, dan lain-lain.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % berat kering, apabila kadar lumpur lebih besar dari 5%, maka agregat halus harus dicuci bila ingin dipakai untuk campuran beton atau bisa juga digunakan langsung tetapi kekuatan beton berkurang 5 %.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *ABRAMS-HARDER* dengan larutan NaOH 3%.
4. Angka kehalusan (*Fineness Modul*) untuk *Fine Sand* antara 2,2–3,2.
5. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

6. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya dan melewati ayakan sebesar 4,75 mm.

Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan tersebut juga dapat dipakai, asal saja kekuatan tekan adukan agregat pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama, tetapi dicuci terlebih dahulu dalam larutan NaOH 3% yang kemudian dicuci bersih dengan air pada umur yang sama.

Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam dan apabila diayak dengan ayakan susunan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Sisa di atas ayakan 4 mm minimum beratnya 2%
2. Sisa di atas ayakan 1mm minimum beratnya 10%
3. Sisa di atas ayakan 0,025 beratnya berkisar antara 80% sampai 95%.

Batasan susunan butiran agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Batasan Susunan Butiran Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan			
	Daerah - 1	Daerah - 2	Daerah - 3	daerah - 4
	Pasir kasar	Pasir agak kasar	Pasir agak halus	Pasir halus
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber Tjokrodimulyo (1996)

Tabel 3.4 memperlihatkan bahwasanya ada empat daerah batasan (zona) susunan butiran agregat halus, dimana daerah yang sering dipakai untuk pembuatan mortar dan beton adalah daerah 1 dan 2.

Agregat halus sebelum dipergunakan perlu diperiksa beberapa hal yaitu :

1. Gradasi Agregat Halus

Gradasi agregat ialah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*continous grade*) dan gradasi seragam (*uniform grade*). Untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan pengujian melalui analisa ayak sesuai dengan standar dari BS 812, ASTM C-33, C 136, ASHTO T.26 ataupun Standar Nasional Indonesia (SNI 15-2049-2004). Agregat halus yang digunakan untuk campuran pembuatan benda uji kuat tekan mortar busa yaitu pasir dengan gradasi lolos seperti dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Gradasi Pasir untuk Mortar Busa

No.	Ukuran ayakan (ASTM)		% Berat Lolos ayakan	
	Inci / No	mm	Minimum	Maksimum
1	No. 4	4,76	100	100
2	No. 8	2,36	80	100
3	No. 16	1,19	50	85
4	No. 30	0,595	25	60
5	No. 50	0,297	11	33
6	No. 100	0,149	4	15
7	No. 200	0,075	0	3

Sumber Tjokrodimulyo (1996)

Tabel 3.5 terlihat bahwa gradasi pasir untuk mortar busa harus melewati saringan No. 4 semuanya 100 % dan untuk saringan No. 200 maksimum tertahan sebesar 3%.

2. Modulus Kehalusan

Modulus kehalusan butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus kehalusan

butir (FM) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif sisa saringan di atas

ayakan No. 100 ($150 \mu\text{m}$) dibagi seratus. Makin besar nilai 26

modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1,5 – 3,8 (SNI 03 – 1750 - 1990).

3. Kadar Air Agregat Halus

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. Kadar air agregat halus dihitung dengan persamaan 3.1.

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

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 cara memakai persamaan 3.2.

$$Kadar\ Air = \frac{Berat\ Semula - Berat\ Kering}{Berat\ Kering} \times 100 \dots\dots\dots 3.2$$

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

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

- b. Kering udara ; Butir-butir agregat kering permukaan tetapi mengandung sedikit air di dalam pori. Oleh karena itu pasir dalam tingkat ini masih dapat menghisap air.
- c. 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.
- d. 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.

Kebutuhan air pada adukan mortar, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering muka, sehingga jika keadaan di lapangan kering udara maka dalam adukan mortar akan menyerap air, namun jika agregat dalam keadaan basah maka akan menambah air. Sebagai standar dalam perhitungan dipakai SSD, karena keadaan kebasahan agregat SSD hampir sama dengan agregat dalam mortar, sehingga agregat tidak menambah atau mengurangi air dari pasta selain itu kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD daripada kering tungku.

3.4.3.3 Air

Air adalah salah satu unsur yang penting dalam campuran mortar, karena air berfungsi agar proses hidrasi di dalam mortar berlangsung. Di samping itu air juga sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan dengan tetap menjaga *workabilitas*. Air yang dipakai untuk proses pencampuran

mortar adalah air yang bersih, tidak mengandung zat-zat yang dapat membahayakan kekuatan dan keawetan mortar. Beberapa macam air yang terdapat di alam, yaitu :

1. Air hujan ; Pada umumnya air hujan mengandung kotoran-kotoran dari udara, CO₂ dan juga SO₂ sehingga ada kemungkinan bahwa air tersebut tidak jernih dan kotor.
2. Air dari mata air ; Pada dasarnya air dari mata air mengandung larutan garam antara lain garam sulfat, besi, kalsium, dan natrium, dan kadang-kadang mengandung asam karbonat.
3. Air laut ; Pada dasarnya air laut mengandung larutan garam ($\pm 3,5\%$) dimana prosentase maksimum adalah garam NaCl (75%).

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F antara lain:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/ liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO₃.
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%.

3.4.3.4 Busa (*Foam Agent*)

Foam agent merupakan cairan yang apabila dicampur dengan air dan diberikan tekanan udara tertentu akan membentuk busa yaitu senyawa kimia dominan yang teridentifikasi dalam cairan pembentuk busa diantaranya: *1-dodecanol*, *methoxyacetic acid tridecylester* dan *1-tetradecanol* dapat juga disebut cairan *surfactant* yang memiliki karakteristik kimia yang hampir sama dengan air. Fungsi dari *foam agent* ini adalah untuk menstabilkan gelembung udara selama pencampuran dengan cepat dan mendapatkan campuran mortar dengan berat isi yang ringan serta dapat didesain sesuai dengan rencana. 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*) (PUPERA, 2015).

Foam agent terbuat dari 2 macam yaitu *Foam agent Nabati* dan *Foam agent sintetik*. Busa sintetik atau busa berbasis protein (nabati) dapat digunakan untuk menghasilkan busa. *Foam agent* berwarna putih kental dalam kemasan drum plastik.

3.4.4 Perancangan Komposisi Campuran Mortar Busa

Perhitungan perancangan komposisi campuran mortar-busa pada skala laboratorium untuk mencapai target kekuatan dan target densitas yang telah ditentukan. Hasil perhitungan tersebut menghasilkan komposisi jumlah masing-masing bahan dan material untuk dilakukan pembuatan benda uji silinder dengan ukurannya yang telah ditentukan.

Tahapan pencampuran mortar busa per meter kubik perancangan skala laboratorium yang diperlukan yaitu (PUPERA,2015) :

1. Tentukan nilai berat jenis semen dari hasil pengujian laboratorium.
2. Tentukan nilai berat isi pasir kondisi SSD dari hasil pengujian laboratorium.
3. Tentukan nilai berat jenis air.
4. Tentukan nilai berat jenis *foam* diperoleh dari persyaratan pabrik pembuat *foam agent*.
5. Penentuan jumlah semen dengan cara coba-coba pada variasi antara 250 kg sampai dengan 300 kg.
 - a. Untuk kebutuhan semen per meter kubik adalah berat semen yang diperlukan dibagi berat jenis semen.
 - b. Untuk kebutuhan air per meter kubik adalah berat air yang diperlukan dibagi berat jenis air.
6. Penentuan jumlah air sebesar 50% dari jumlah semen.
 - a. Volume campuran (semen + air) adalah jumlah dari kebutuhan semen dan air dalam meter kubik.
 - b. Volume agregat + *foam* (busa) diperoleh dari satu meter kubik dikurangi volume campuran.
7. Penentuan jumlah pasir yang dibutuhkan sebesar persentasi agregat dikali volume agregat + *foam* dikali nilai kondisi berat isi pasir (SSD) dikali 1000 untuk kebutuhan per meter kubik.
8. Penentuan jumlah *foam* yang dibutuhkan sebesar persentasi *foam* dikali volume agregat + *foam* dikali 1000 untuk kebutuhan per meter kubik.
9. Penentuan nilai densitas basah rencana diperoleh dari jumlah total campuran yang terdiri dari semen, pasir, persentase agregat pasir dan persentase *foam*.
10. Penentuan uji *flow* dengan batasan $180 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$.

11. Penentuan densitas basah hasil pengujian campuran mortar busa sesuai dengan target yang ditentukan.
12. Penentuan densitas kering diperoleh dari hasil pengujian campuran mortar busa yang berbentuk silinder dengan ukuran yang telah ditentukan diuji tekan sehingga diperoleh nilai target kekuatannya.

3.4.5 Pembuatan Mortar Busa

Pembuatan mortar busa dapat dilakukan dengan baik dan benar mengikuti langkah-langkah seperti berikut (PUPERA, 2015) :

1. Pencampuran cairan busa dan air. Untuk membuat busa dilakukan pencampuran cairan busa dan air dengan menggunakan *foam generator* dan *compressor*. Proses pembentukan busa sebagai berikut :
 - a. Takar busa (*foam*) dan air dengan perbandingan volume 1:20 sampai dengan 1:30, pengukuran dilakukan dengan menggunakan gelas ukur. Pencampuran *foam* dan air dilakukan di dalam wadah plastik dengan menggunakan takaran.
 - b. Hubungkan *compressor* dengan pembangkit busa.
 - c. Campurkan cairan busa dan air di dalam ember, lalu masukkan ke pembangkit busa.
 - d. Pastikan campuran cairan busa (*foam agent*) dan air tercampur secara homogen.
 - e. Timbang hasil campuran berupa cairan busa dengan dimasukkan ke dalam bejana, dengan nilai target standar (0,075 sampai dengan 0,085) t/m³.

f. Bila busa tidak sesuai yang ditargetkan, periksa tekanan air dan udara pada unit pembangkit busa (*foam generator*).

2. Pencampuran material (semen, pasir, dan air), Campuran material terdiri dari semen, pasir dan air. Semua material dicampur menggunakan *mixer*, dengan variasi komposisi material sesuai dengan rancangan campuran. Hal ini dimaksudkan agar bisa diperoleh spesifikasi material ringan yang dikehendaki. Campuran tersebut harus diperiksa terhadap gumpalan yang terjadi. Semua material harus diperiksa terlebih dahulu antara lain :

- a. Agregat pasir lolos saringan No.10 dan tertahan saringan No.200, periksa gradasi pasir, dan kadar air.
- b. Periksa air yang akan digunakan harus pada kondisi standar sesuai SNI 03-6861-2002
- c. Semen yang digunakan harus sesuai dengan yang dipersyaratkan
- d. Tentukan komposisi awal yang ditargetkan untuk material campuran agregat (pasir), air dan semen, harus sesuai dengan rancangan campuran yang telah didapatkan pada kegiatan persiapan pencampuran, campuran sebagai berikut:
 - 1) Rasio campuran agregat pasir dan semen sebesar 1:1, air sebanyak 45 - 50 % dari berat semen.
 - 2) Masukkan agregat halus (pasir) ke dalam *mixer*
 - 3) Masukkan air ke dalam *mixer*
 - 4) Masukkan semen ke dalam *mixer*
 - 5) Masukkan busa hasil campuran cairan busa dan air ke dalam *mixer*

6) Aduk material dalam *mixer* pastikan semua campuran tercampur homogen.

3. Pencampuran mortar (semen, pasir, air) dan busa (foam, air) ; pencampuran mortar dan busa dilakukan dalam *mixer* dan diaduk selama ± 2 menit, pastikan campuran sudah homogen, kemudian lakukan pengujian.

3.4.6 Pengujian Mortar Busa

Untuk mendapatkan mortar busa yang sesuai dengan spesifikasi harus dilakukan beberapa pengujian, antara lain (PUPERA, 2015) :

3.4.6.1 Berat Isi (*Density*)

Pemanfaatan *foam* (busa) untuk membentuk material ringan dapat diperoleh kriteria – kriteria mempunyai berat yang ringan sehingga nilai berat isi (*density*) dari material campuran atau mortar tersebut mempunyai berat isi 5-12 kN/m³. Pengujian densitas basah dilakukan untuk mengetahui berat isi mortar busa pada saat masih basah. Pengujian ini dilakukan sesaat setelah proses pencampuran.

3.4.6.2 Kelecekan (*Flow*)

Nilai *flow* (*flowability*) pada *foam* (busa) diindikasikan untuk memudahkan pelaksanaan dilapangan bila menggunakan alat penyemprot sehingga mencapai jarak yang ideal, nilai *flow* umumnya berkisar 180 ± 20 mm. Pelaksanaan pekerjaan timbunan dengan mortar busa yaitu mudah disemprotkan bila menggunakan alat mesin penyemprot dan dapat memadat sendiri karena berperilaku seperti mortar beton dimana material campuran tersebut mengeras sesuai dengan waktu pemeraman (*curing*) yang ditetapkan (PUPERA, 2015)

Pengecekan *flow* (aliran) mortar busa dilakukan untuk mengetahui apakah sesuai dengan batasan yang sudah ditetapkan yakni $180 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$. Bahan yang masih segar dituangkan kedalam *flow cone* hingga batas atasnya kemudian *flow cone* diangkat perlahan hingga benda uji mengalir dan menyebar, ukur diameternya setelah satu menit kemudian. Cocok kan dengan ketentuan yang ada. Metode pengujian kelecekan beton segar menurut standar SNI 03-1972-1990

3.4.6.3 Angka Pori

Angka pori (e), perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Biasanya dinyatakan dalam desimal. Metode pengujian kandungan udara dalam beton segar memakai SNI 3418:2011 yang merupakan revisi dari SNI 03-3418-1994. Untuk mendapatkan angka pori dapat menggunakan persamaan 3.3.

$$e = V_v/V_s \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana :

V_s = volume butiran padat

e = angka pori

V_v = volume pori

3.4.6.4 Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan mortar adalah besarnya tegangan maksimum pada waktu pengujian sampai contoh benda uji mortar mengalami keruntuhan. Standar yang dipakai dalam melakukan uji kuat tekan beton adalah SNI 1974:2011 yakni

Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder revisi dari SNI 03-

1974-1990 dan merupakan adopsi modifikasi dari AASHTO T 22-03 (ASTM C 39-99).

Untuk mengetahui perbandingan kuat tekan mortar dengan varian berbeda, perhitungan kuat tekan mortar menggunakan persamaan 3.4 (SNI 03-6882-2002).

$$f'c = P/A \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana :

$f'c$ = kuat tekan mortar, dalam MPa

P = beban maksimum total, dalam N

A = luas dari permukaan yang dibebani, dalam mm²

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. Umumnya nilai f.a.s. minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2004).

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 tertinggi.

3. Umur Mortar

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.

3.4.6.5 Modulus Elastisitas Mortar Busa

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan dari diagram tegangan – regangan yang masih dalam keadaan elastisitas. Dengan kata lain modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara tegangan dan regangan beton. Beton tidak memiliki *modulus elastisitas* yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik dan perbandingan semen dan agregat.

Tolok ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah *Modulus Elastisitas* yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan (Murdock & Brook. 1986). *Modulus elastisitas* tidak berkaitan langsung dengan

sifat-sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga E yang lebih tinggi pula (Murdock & Brook. 1991 : 11). Berbeda dengan baja, maka *modulus elastisitas* beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Selanjutnya, karena beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk *modulus elastisitas* yaitu modulus awal, modulus tangen (*tangent modulus*), dan modulus sekan (*secant modulus*). Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50% dari kekuatan tekan f'_c diambil sebagai modulus elastisitas. Untuk selama bertahun-tahun *modulus elastisitas* didekati dengan harga $1000 f'_c$ oleh peraturan ACI; akan tetapi dengan penggunaan dari beton ringan yang maju pesat, maka variabel kerapatan (*density*) perlu diikuti. *Modulus elastisitas* yang besar menunjukkan kemampuan beton menahan beban yang besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil. Untuk beton normal biasanya memiliki *modulus elastisitas* antara 25 kN/mm² sampai 36 kN/mm² .(Wang dan Salmon. 1986). Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5 digunakan rumus nilai *modulus elastisitas* beton ringan persamaan 3.5.

$$E_c = 0,043W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.5)$$

- dimana,
- E_c = modulus elastisitas beton desak (mPa)
 - W_c = berat isi beton (kgf/m³)
 - f'_c = kuat desak beton (mPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 dan 2500 kgf/m³ . Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi ± 23 kN/m³ dapat digunakan nilai persamaan 3.6 (Dipohusodo, 1996) :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots \quad (3.6)$$

Keterangan: E_c = modulus elastisitas beton tekan (mPa)

f'_c = kuat tekan beton (mPa)

Perhitungan modulus elastisitas beton secara umum dapat dituliskan seperti persamaan 3.7 (Antono, 1993):

$$E = f / \dots \dots \dots \quad (3.7)$$

$$f = P / A_o \dots \dots \dots \quad (3.8)$$

$$\frac{l - l_o}{l_o} = \frac{l}{l_o} \dots \dots \dots \quad (3.9)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas beton tekan (Mpa)

f = tegangan (Mpa)

= regangan

P = beban desak (N)

L = panjang ukur (yang memendek) sewaktu ada tegangan (mm)

L_o = panjang awal benda uji (mm)

l = perubahan panjang benda uji (mm)

Selanjutnya hubungan f dan dapat digabungkan dalam grafik untuk menentukan nilai modulus elastisitas (E). Berdasarkan hukum *Hooke*, nilai modulus elastisitas dapat dicari menggunakan persamaan 3.10.

$$= E \cdot \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana :

= tegangan (mPa)

E = modulus elastisitas (mPa)

= regangan

Dalam ACI 363-92 *State of The Art Report on High Strength Concrete* untuk menghitung modulus elastisitas menggunakan persamaan 3.11.

$$E_c = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan menggunakan metode analitis grafis, modulus elastisitas bisa dihitung dengan menggunakan beberapa rumus standar yakni :

Menurut Eurocode 2-1992 modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.12.

$$E_c = 0.4 f'_c / \nu (0.4 f'_c) = \{interval \uparrow = \uparrow - 0 N \uparrow 0.4 f'_c\} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana :

E_c = modulus elastisitas statik (mPa)

ϵ = regangan aksial (mm/mm) (%)

f'_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (psi)

Berdasarkan ASTM C469 modulus elastisitas bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 3.13.

$$E_c = (0.4 f'_c - \tau_1) / \nu (0.4 f'_c) - \nu_1 \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana :

E_c = modulus elastisitas statik (mPa)

v_1 = regangan aksial (mm/mm)

τ_1 = tegangan yang berhubungan dengan v_1

f_c' = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (mPa)

3.5 Hipotesis

Pembangunan jalan di atas tanah lunak sangat rentan terhadap penurunan yang terjadi baik selama proses konstruksi maupun setelah masa layanan. Penurunan ini dapat terjadi akibat beratnya beban di atas tanah asli, baik berupa beban lalu lintas maupun beban timbunan serta *base* dan *sub base*. Untuk mengurangi beban yang ditanggung oleh tanah lunak ini maka salah satu caranya adalah dengan mengganti material urugan dengan material ringan mortar busa.

Di daerah Provinsi Riau umumnya terdapat berbagai jenis pasir yang memungkinkan dipakai sebagai bahan campuran mortar busa baik pasir sungai, pasir laut maupun pasir darat (cuci), namun masing-masing jenis pasir tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan jenis dan lokasi penambangannya.

Agar penelitian ini dapat terarah dengan baik dan fokus pada tujuan, maka dirumuskan beberapa hipotesa penelitian sebagai berikut :

1. Kuat tekan bebas material ringan mortar busa yang menggunakan pasir sungai kemungkinan lebih tinggi dari yang menggunakan pasir laut atau pasir darat/cuci.
2. Mortar busa yang dirawat memakai plastik kemungkinan lebih tinggi nilai kuat tekan bebasnya dibandingkan dengan yang tidak dirawat atau dibiarkan di udara terbuka.

3. Mortar busa yang memakai semen jenis PPC kemungkinan lebih tinggi kuat tekan bebas nya dibandingkan dengan yang menggunakan semen jenis OPC.
4. Modulus elastisitas mortar busa yang menggunakan pasir sungai kemungkinan lebih tinggi dari mortar busa yang menggunakan pasir laut dan pasir darat/cuci.



BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dan demi kelancaran penelitian perlu disusun dan dirancang langkah-langkah penelitian yang akan menjadi acuan dalam pelaksanaannya. Hal-hal yang akan ditetapkan sebelum pelaksanaan penelitian dimulai antara lain meliputi mengenai lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan, tahapan pelaksanaan penelitian dan proses pembuatan sampel uji serta jadwal pelaksanaan penelitian.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di dua tempat yakni, untuk pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium lapangan PT. Semangat Hasrat Tata Jaya, Jalan Soekarno – Hatta Proyek Pembangunan *Flyover* Simpang Mal SKA Pekanbaru dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Jalan Kaharudin Nasution No. 113 Pekanbaru.

4.3 Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini memakai bahan dan peralatan yang telah ditetapkan sebelumnya sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian.

4.3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dipakai untuk pembuatan benda uji material ringan mortar busa dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Semen Padang tipe I jenis PPC

2. Agregat halus (pasir) berasal dari pasir sungai Danau Bingkuang Kampar, pasir sungai Teratak Buluh Kampar, pasir laut Tanjung Balai Karimun, pasir sungai Tembilahan, pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru.
3. Air bersih
4. *Foam agent* produksi Samacon kemasan drum 200 liter.

Foam agent produksi Samacon yang dipakai pada penelitian ini seperti pada Gambar 4.1.



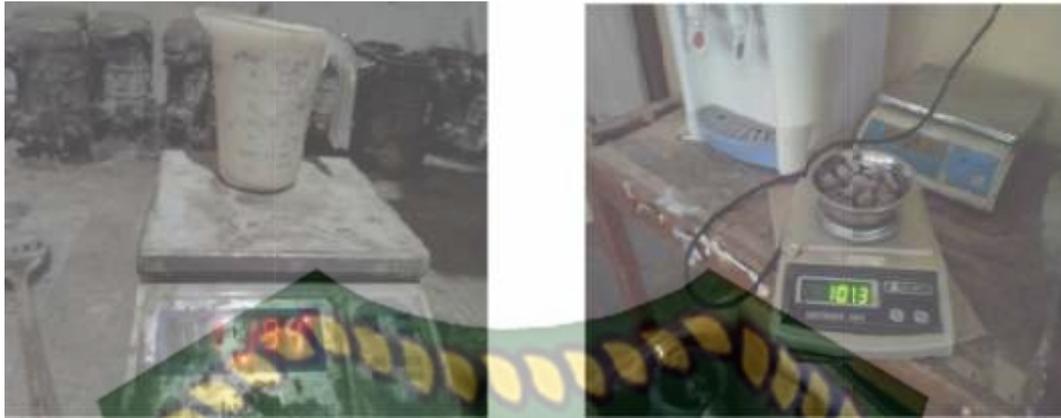
Gambar 4.1 *Foam Agent* Produksi Samacon Kemasan Drum

4.3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penakaran;
 - a. Timbangan digital
 - b. Alat penakar
 - c. Tangki air

Alat timbangan digital yang dipakai pada penelitian ini seperti Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Alat Timbangan Digital

2. Pencampuran dan pengecoran;
 - a. Alat pembangkit busa (*foam generator*)
 - b. Tangki tekan udara (*air compressor*) dengan kapasitas tekanan (0,6 s.d. 1) mPa

Alat pembangkit busa (*foam generator*) dan *air compressor* yang dipakai dalam penelitian ini seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Alat Pembangkit Busa (*Foam Generator*) dan *Air Compressor*

3. Alat pengaduk (*laboratory mixer*) dengan kecepatan (30 s.d.60) rpm (*mixer*) dengan *blade* yang berputar.

Alat pengaduk (molen) yang dipakai pada penelitian ini terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Alat Pengaduk Mortar (molen mini)

4. Pengujian densitas basah;
 - a. Sendok mortar
 - b. Cawan/ember kapasitas (1,2 s.d. 10) liter
 - c. Pisau
5. Pengujian daya alir (*flowability*);
 - a. *Ring flow* (diameter 80 mm, tinggi 80 mm)
 - b. Papan plastik/kaca (400x400) mm
 - c. Penggaris

Pemakaian alat dan pengujian *flow* dilakukan seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Alat Uji *Flow* (Kelecekan)

6. Pengujian uji tekan bebas (*UCS*);
 - a. Cetakan silinder (diameter 100 mm, tinggi 200 mm)
 - b. Alat uji tekan bebas (*UCS*) harus sesuai SNI 3638 : 2012

Alat uji tekan bebas yang dipakai pada penelitian ini seperti gambar 4.6.



Gambar 4.6 Alat Uji Kuat Tekan Bebas (*UCS*)

7. Pengujian densitas kering
 - a. Cawan aluminium
 - b. Oven listrik

Oven listrik yang dipakai untuk pengering benda uji adalah seperti Gambar 4.7



Gambar 4.7 Oven Listrik

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa langkah yang dibuat secara sistimatis sebagai berikut :

1. Persiapan

Untuk melaksanakan penelitian ini agar dapat berjalan dengan baik dan lancar sesuai dengan yang diinginkan, perlu dilakukan persiapan yang matang yakni mulai dari :

- a. Pengurusan ijin. Yaitu melakukan pengurusan ijin terkait penelitian yang mencakup tempat pembuatan benda uji dan tempat pengujian benda uji.
- b. Penyediaan bahan. Yakni mencari/mendapatkan sekaligus mengumpulkan bahan-bahan yang akan dipakai dalam pembuatan benda uji penelitian.
- c. Penyediaan alat. Mencari/mendapatkan peralatan yang dibutuhkan untuk membuat dan menguji benda uji penelitian.

2. Pengumpulan Data

a. Data Primer

Data Primer yaitu data yang langsung diperoleh dari tempat penelitian yaitu Laboratorium Lapangan Pembangunan *Flyover* Simpang Mal SKA Pekanbaru dan Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau Pekanbaru. Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data primer yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah :

- 1) Pemeriksaan gradasi agregat halus
- 2) Pemeriksaan kadar air agregat halus
- 3) Pengujian nilai *flow* mortar busa

- 4) Pengujian densitas basah mortar busa
 - 5) Pengujian kuat tekan bebas (*UCS*) mortar busa
 - 6) Pemeriksaan angka pori mortar busa
 - 7) Pengujian densitas kering mortar busa
 - 8) Pengujian modulus elastisitas mortar busa
- b. Data Sekunder

Data Sekunder diperoleh dengan cara mengumpulkan data-data dari penelitian – penelitian sebelumnya dan data penelitian-penelitian lain yang berhubungan dengan penelitian ini. Data Sekunder yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

- 1) Data kadar lumpur pasir Danau Bingkuang dan data *UCS* mortar busa yang memakai agregat halus pasir sungai Danau Bingkuang dan semen Padang jenis OPC diambil dari data laboratorium lapangan Proyek Pembangunan *Flyover* Simpang Mal SKA Pekanbaru tahun 2018 .
- 2) Data kandungan kimia semen PPC dan OPC hasil penelitian Astuti tahun 2006.
- 3) Data kandungan lumpur pasir Teratak Buluh, pasir Tembilahan, pasir Kulim dan pasir Tj. Balai Karimun, hasil penelitian Azzahra tahun 2018.

3. Analisa Data

Setelah data primer dan data sekunder didapatkan, langkah selanjutnya adalah menganalisa data tersebut. Data-data dari hasil pengujian dilaboratorium di analisa dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ada dan baku yang didapat dari literatur yang ada.

4. Hasil dan Pembahasan

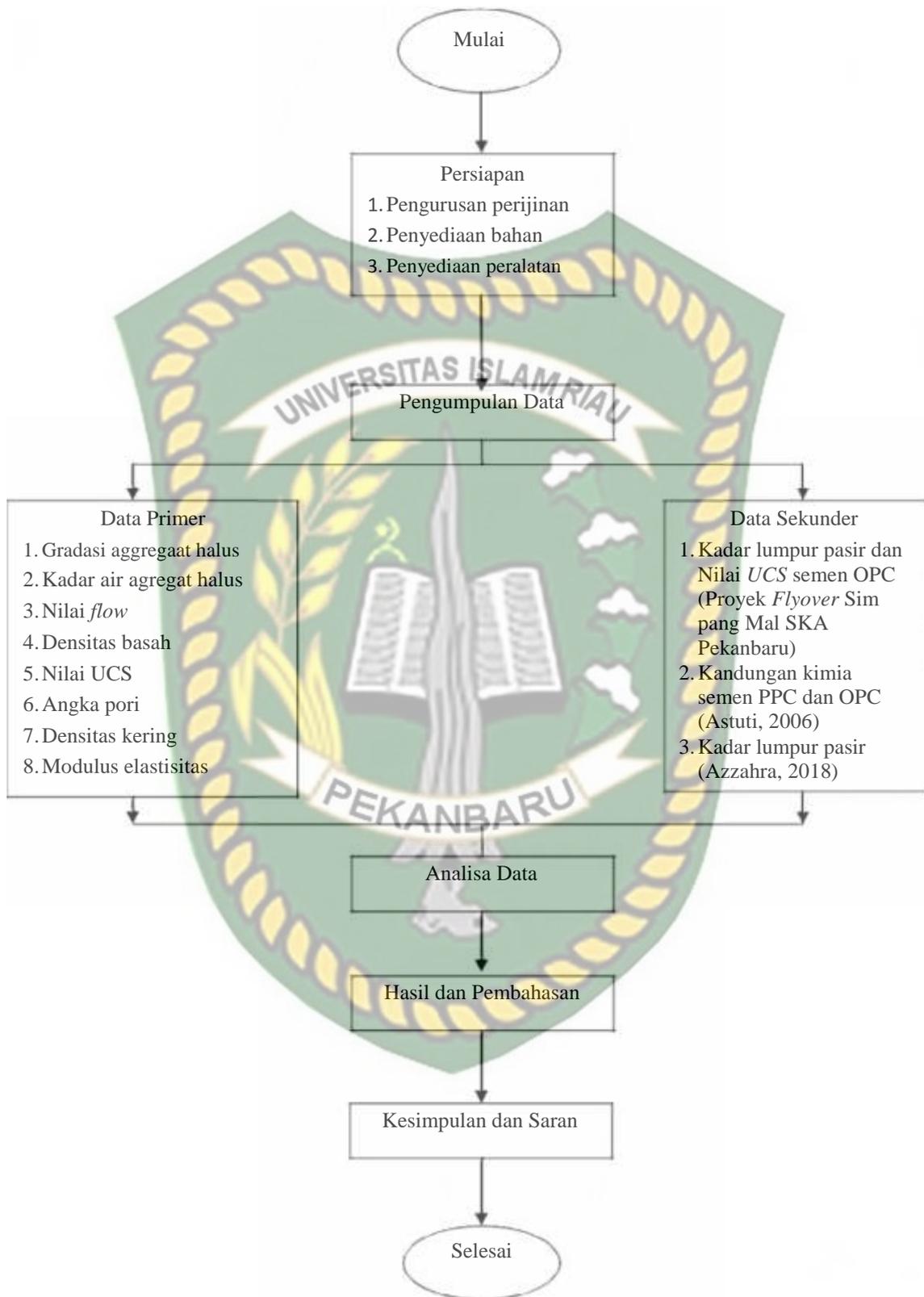
Data-data yang sudah dianalisa, hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan pembacaannya. Selanjutnya tabel dan grafik ini diberikan keterangan, analisa dan pengertian yang lebih dalam dan spesifik sehingga mudah dipahami apa yang dimaksud dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian ini.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan data-data yang diperoleh dan telah dianalisa serta dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu diberbagai literatur yang ada, kemudian diperiksa apakah sudah sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian.

Saran diberikan kepada semua pihak yang berkepentingan dengan penelitian untuk pengembangan dan perbaikan di waktu yang akan datang. Semua saran adalah yang hanya berkaitan dengan kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini.

Untuk lebih jelasnya tahapan-tahapan penelitian ini dapat dilihat dalam bagan alir Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Bagan Alir Tahapan Penelitian

4.5 Proses Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan melalui beberapa proses yang terkoordinasi dan berurutan satu dengan lainnya.

1. Pencampuran

Campuran material ringan dengan mortar busa terdiri dari campuran *foam agent* (cairan busa), semen, pasir, dan air.

a. Pencampuran *foam agent* (busa) dan air

Bahan pembuat busa adalah cairan busa (*foam agent*) dan air. Untuk membuat busa dilakukan pencampuran cairan busa dan air dengan menggunakan *foam generator* dan *compressor*. Proses pembuatan busa sebagai berikut :

- 1) Takar busa (*foam*) dan air dengan perbandingan volume 1 : 25, pengukuran dilakukan dengan menggunakan gelas ukur.
- 2) Hubungkan *compressor* dengan *foam generator*.
- 3) Campurkan *foam* dan air di dalam ember, lalu masukkan ke *foam generator*.
- 4) Pastikan campuran *foam* dan air sudah tercampur.
- 5) Timbang hasil campuran berupa busa dengan dimasukkan ke dalam bejana, dengan nilai target standar $0,080 \text{ t/m}^3$.

Bila busa tidak sesuai yang ditargetkan, periksa tekanan air dan udara pada unit *foam generator*. Penimbangan busa dilakukan diatas timbangan digital yang sudah disiapkan seperti Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Penimbangan Busa

- b. Pencampuran material (semen, pasir, air)

Campuran material mortar terdiri dari semen, pasir dan air. Semua material dicampur menggunakan *laboratory mixer*, dengan variasi komposisi material sesuai dengan rencana campuran. Hal ini dimaksudkan agar bisa diperoleh spesifikasi material ringan yang dikehendaki. Campuran tersebut harus diperiksa terhadap gumpalan yang terjadi.

- 1) Pastikan air yang digunakan pada kondisi standar sesuai SNI 03-6861-2002.
 - 2) Semen yang digunakan harus memakai semen tipe I PPC
 - 3) Masukkan agregat halus (masing-masing jenis) dan semen ke dalam bejana *mixer*, lalu diaduk dengan *mixer* selama ± 5 menit.
 - 4) Masukkan air ke dalam bejana *mixer* yang telah terisi agregat halus dan semen tersebut, lalu diaduk lagi selama ± 5 menit.
- c. Pencampuran busa (*foam* dan air) dan material (semen, pasir, air)

Masukkan busa (*foam*) dan campuran mortar (pasir, air dan semen) ke dalam bejana, kemudian diaduk menggunakan molen. Campuran tersebut harus diperiksa terhadap gumpalan yang terjadi, aduk selama ± 5 menit, dan pastikan campuran mortar busa telah homogen seperti Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pencampuran Mortar dan Busa dalam *Mixer*

2. Pengecekan

Untuk mendapatkan material ringan dengan mortar busa sesuai spesifikasi yang direncanakan harus melakukan proses pengecekan benda uji, sebagai berikut:

a. *Flow*,

Pengecekan nilai *flow* material mortar busa dilakukan dalam kondisi segar.

Cara pengecekan *flow* sebagai berikut (PUPERA, 2015) :

- 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*. Nilai hasil *flow* harus $180 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$.

- 3) Apabila nilai *flow* tidak memenuhi spesifikasi, dapat dikurangi atau menambah jumlah busa (*foam*) atau mengurangi agregat yang digunakan.

Pengecekan *flow* dilakukan seperti Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pengecekan Kelecekan (*Flow*)

- b. Densitas basah

Pengujian densitas basah, dilakukan setelah pengujian *flow* dilakukan. Pengujian densitas basah dilakukan dengan cara menimbang benda uji hasil pengujian *flow* dan mengurangi nilai yang dihasilkan terhadap berat dari *ring flow* seperti Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Penimbangan Benda Uji untuk Pengujian Densitas Basah

3. Pencetakan dan perawatan

Untuk mencetak benda uji dan melakukan perawatannya dilakukan langkah-langkah sebagai berikut (PUPERA, 2015) :

- a. Persiapkan terlebih dahulu cetakan (diameter 100 mm x tinggi 200 mm).
- b. Masukkan campuran mortar busa ke dalam cetakan silinder sebanyak 5 bh masing-masing jenis pasir
- c. Beri label pada setiap cetakan silinder dan setiap pengujian.
- d. Buka benda uji di dalam cetakan silinder setelah 1 hari, dan dilakukan proses perawatan (*curing*) dengan cara membungkus benda uji menggunakan plastik, agar benda uji terhindar dari kontaminasi udara bebas sehingga proses hidrasi dapat berlangsung. Sementara benda uji yang tidak dirawat dibiarkan terbuka pada udara bebas ruangan.

Proses pencetakan benda uji dan perawatannya dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pencetakan Benda Uji dan Perawatan Benda Uji

4. Uji kuat tekan bebas (*UCS*)

Material mortar busa yang sudah cukup umur sesuai dengan rencana dapat di uji kuat tekan bebasnya (*UCS*) pada alat yang sudah dipersiapkan dengan langkah-langkah sebagai berikut (PUPERA, 2015) :

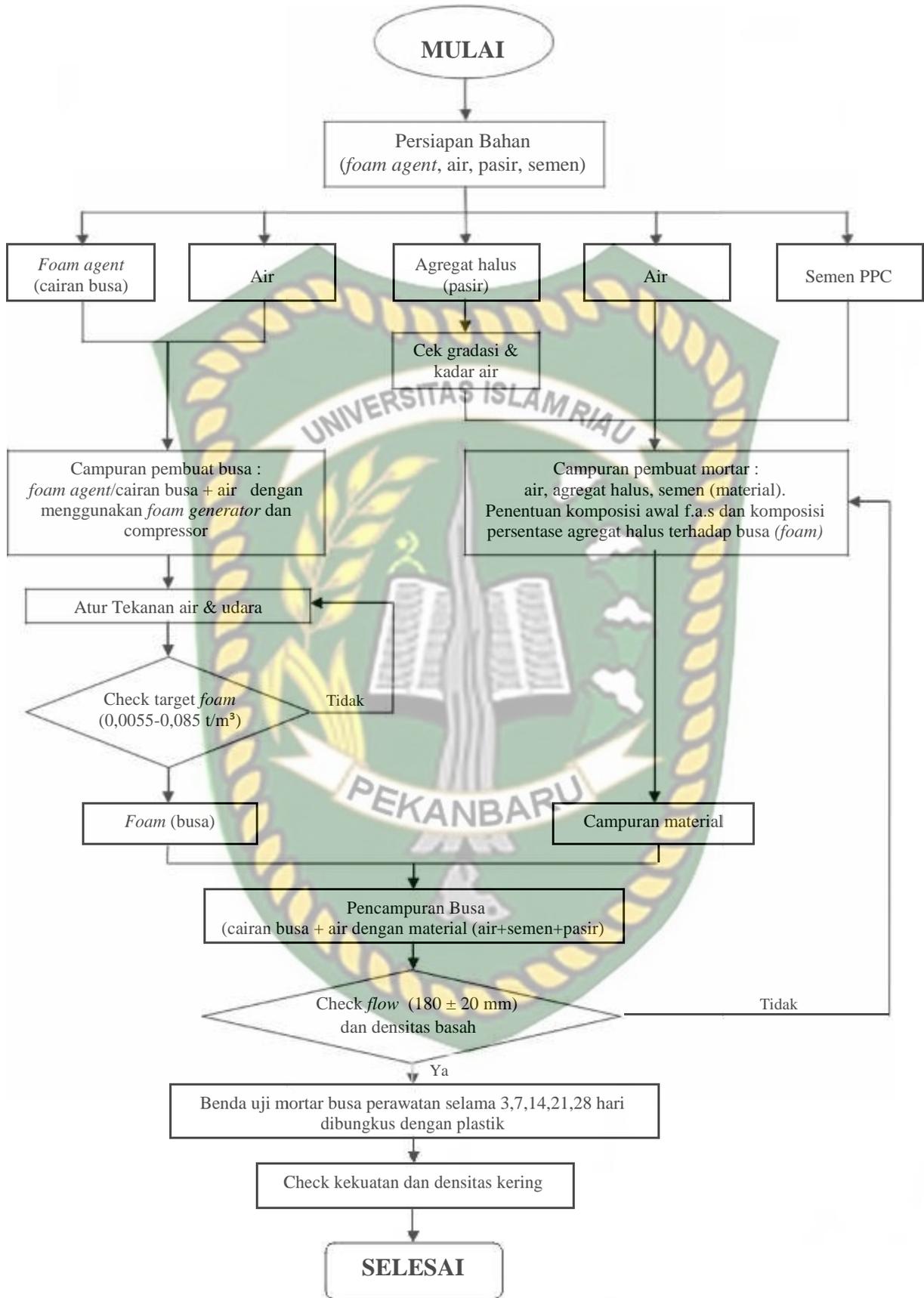
- a. Lakukan pengujian tekan bebas pada waktu yang telah ditentukan, yaitu pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari.
- b. Oven benda uji selama ± 24 jam
- c. Timbang benda uji dan hitung densitas kering.
- d. Hitung modulus elastisitas berdasarkan data *UCS*.

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan di laboratorium seperti Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengujian Kuat Tekan Bebas (*UCS*)

Untuk lebih jelasnya proses pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat dalam bagan alir proses pelaksanaan penelitian Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Bagan Alir Proses Pelaksanaan Penelitian

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Material

Sebelum melakukan pembuatan benda uji terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan material-material yang akan dipakai sebagai bahan campuran untuk pembuatan benda uji tersebut. Material-material yang diperiksa antara lain :

5.1.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus yakni pasir yang diambil dari beberapa *quarry* seperti Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Sat	Hasil Pemeriksaan				
			Pasir D. Binguang	Pasir Teratak Buluh	Pasir Tembilihan	Pasir Kulim	Pasir Tj. Balai
1	Berat Jenis Kering	gr/cc	2,58	2,57	2,28	2,55	2,33
2	Berat Jenis SSD	gr/cc	2,60	2,60	2,41	2,59	2,53
3	Berat Jenis Semu	gr/cc	2,64	2,63	2,61	2,65	2,91
4	Tingkat Penyerapan Air	%	0,88	0,89	5,55	1,42	8,55
5	Resapan Efektif (Re)	%	-	0,88	5,26	1,40	7,88
6	Berat Air Resapan Max.	gr/cc	-	436,13	2.491,66	690,20	3.629,53

Berdasarkan hasil pemeriksaan dari beberapa jenis agregat halus seperti pada Tabel 5.1 didapat bahwasanya tingkat penyerapan air pasir sungai Danau Binguang, pasir sungai Teratak Buluh dan pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru berada dibawah persyaratan nilai maksimum penyerapan agregat halus yakni 5%.

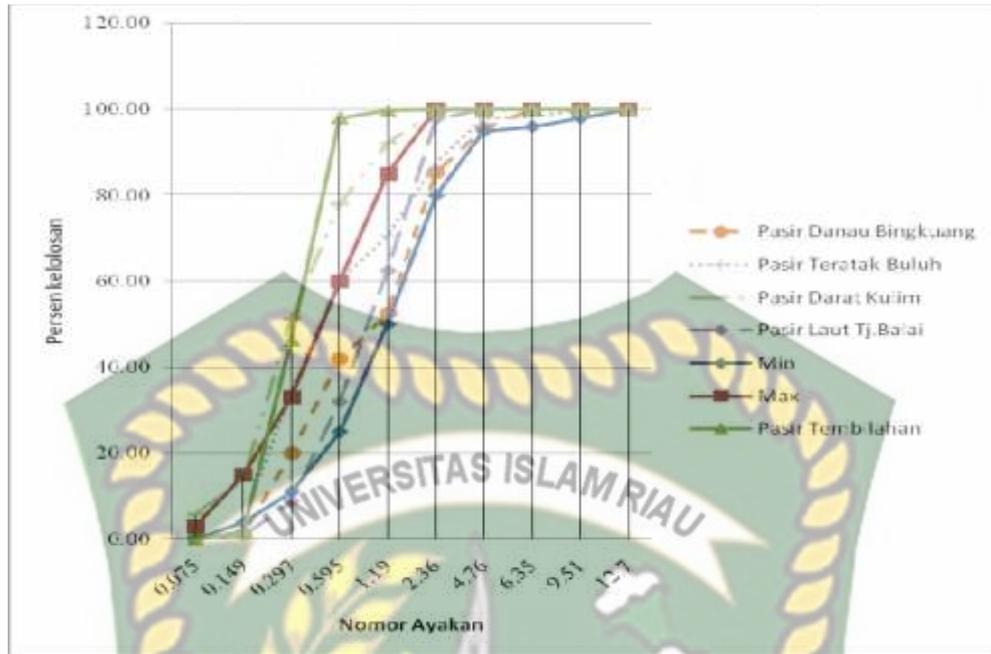
Sementara pasir sungai Tembilahan dan pasir laut Tj. Balai Karimun berada diatas nilai maksimum penyerapan agregat halus. Hasil pemeriksaan semua pasir didapat berat jenis pasir SSD antara 2,41gr/cc – 2,6 gr/cc, ini memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bangunan sesuai dengan SNI 03-1964-1990 yaitu antara 2,4 gr/cc – 2,9 gr/cc.

Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus dari beberapa jenis dan sumber penambangannya dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Persentase Lolos Agregat Halus

Nomor Ayakan	1/2"	3/8"	1/4"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Ukuran Ayakan (mm)	38,00	9,51	6,35	4,76	2,36	1,19	0,595	0,297	0,149	0,075
Persentase Lolos (%)										
Pasir Danau Binguang	100,00	100,00	100,00	95,46	85,29	52,5	41,87	20,00	1,31	0,41
Pasir Teratak Buluh	100,00	99,85	98,28	98,04	87,55	70,62	60,32	34,48	3,96	0,00
Pasir Tembilahan	100,00	100,00	100,00	100,00	99,95	99,74	98,06	46,32	1,98	0,00
Pasir Kulim	100,00	100,00	100,00	100,00	99,87	92,00	78,1	51,16	13,83	5,76
Pasir Tjg. Balai	100,00	100,00	99,99	99,97	97,78	62,44	31,98	8,82	0,96	0,00

Berdasarkan Tabel 5.2 mengenai hasil analisa saringan didapat gambaran besaran atau persentase distribusi butiran dari berbagai jenis agregat halus, sehingga dapat ditentukan zona gradasi masing-masing agregat halus, seperti terlihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Zona 2 (SK. SNI T-15-1990-03)

Berdasarkan Gambar 5.1 dapat dilihat bahwasanya pasir sungai Danau Bingkuang, pasir sungai Teratak Buluh, Pasir Laut Tj. Balai Karimun masuk ke dalam zona 2 sesuai dengan SK SNI T-15-1990-03. Namun pasir sungai Tembilahan dan pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru sebagian berada diluar zona 2. Ini menunjukkan bahwa pasir sungai Tembilahan dan pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru relatif lebih halus daripada pasir lainnya. Walaupun pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru dan pasir sungai Tembilahan sebagian berada diluar zona 2 namun pengujian tetap dilanjutkan.

5.1.2 Rancangan Campuran Adukan Mortar

Untuk merencanakan campuran mortar busa dengan kekuatan tekan minimum (umur 14 hari) 800 kPa mengacu kepada surat edaran yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor

44/SE/M/2015, tentang Pedoman Perancangan Campuran Material Ringan dengan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan.

Hasil perhitungan rancangan campuran (*Mix Design*) adukan mortar busa kekuatan 800 kPa diperoleh komposisi kebutuhan bahan untuk 1 m³ mortar busa seperti dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Rancangan Campuran Mortar Busa 800 kPa untuk 1 M³

No	Jenis Pasir	Kebutuhan Material (Kg)				
		Semen	Air	Pasir	Busa	Total
1	Pasir sungai Danau Binguang	320	144	343,31	49,60	856,91
2	Pasir sungai Teratak Buluh	320	144	348,40	49,60	862,00
3	Pasir sungai Tembilahan	320	144	321,60	49,60	835,20
4	Pasir darat/cuci Kulim	320	144	346,93	49,60	860,53
5	Pasir laut Tj. Balai Karimun	320	144	339,02	49,60	852,62

Dari Tabel 5.3 terlihat hasil rancangan campuran mortar busa bahwa semua komponen bahan selain pasir sama beratnya, sementara untuk kebutuhan pasir berbeda jumlahnya. Dalam hal volume kebutuhan pasir tetap sama namun karena masing-masing pasir mempunyai berat jenis yang berbeda, maka jumlah berat kebutuhan masing-masing pasir menjadi berbeda pula.

5.1.3 Hasil Pengujian Nilai *Flow*

Pengujian nilai *flow* dilaksanakan pada waktu pengadukan dan pencampuran material pembentuk mortar busa. Hasil yang didapat dari masing-masing jenis pasir adalah seperti dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Nilai *Flow* Rata-Rata

No	Jenis Pasir	Nilai <i>Flow</i> (cm)					Rata-rata	Ketr.
		Umur 3 hari	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 21 hari	Umur 28 hari		
1	Danau Binguang	19,00	19,00	20,00	18,00	20,00	19,20	Memenuhi
2	Teratak Buluh	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	Memenuhi
3	Tembilahan	18,50	18,00	18,00	18,50	18,50	18,30	Memenuhi
4	Kulim Pekanbaru	19,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,40	Memenuhi
5	Tjg. Balai Karimun	19,00	19,00	19,00	19,50	19,50	19,20	Memenuhi

Dari Tabel 5.4 di atas terlihat bahwa nilai *flow* rata-rata berada antara 17,40 cm – 19,20 cm. Hasil ini masuk dalam range yang sudah ditetapkan oleh Kementerian PUPERA yakni 18 cm ± 2 cm atau (16 cm – 20 cm). Dengan demikian pembuatan benda uji dapat dilanjutkan.

5.1.4 Hasil Pengujian Angka Pori

Dari hasil pengujian didapat angka pori mortar busa untuk masing-masing jenis pasir seperti pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Angka Pori Rata-Rata

No	Jenis Pasir	Angka Pori					Rata-rata
		Umur 3 hari	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 21 hari	Umur 28 hari	
1	Danau Binguang	0,208	0,084	0,114	0,140	0,236	0,156
2	Teratak Buluh	0,203	0,177	0,103	0,053	0,131	0,133
3	Tembilahan	0,297	0,236	0,206	0,164	0,135	0,208
4	Kulim Pekanbaru	0,190	0,391	0,287	0,191	0,170	0,246
5	Tjg. Balai Karimun	0,256	0,057	0,122	0,048	0,080	0,113
6	Danau Binguang (tdk dirawat)	0,109	0,193	0,023	0,082	0,205	0,122

Dari Tabel 5.5 tersebut diperoleh angka pori rata-rata mortar busa untuk jenis pasir yang terbesar adalah pasir Kulim Pekanbaru 0,246 dan yang terendah pasir Tjg. Balai Karimun 0,113. Sementara apabila dibandingkan khusus pasir Danau Bingkuang yang dirawat dengan tanpa perawatan angka porinya yang lebih besar adalah yang dirawat. Semakin besar angka porinya maka mortar busa tersebut semakin ringan.

5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCS) Mortar Busa Berbagai Quarry Pasir

Benda uji yang sudah mencukupi umur diuji kuat tekannya dengan menggunakan sistim kuat tekan bebas. Dari pengujian kuat tekan bebas tersebut didapat hasil sebagai berikut :

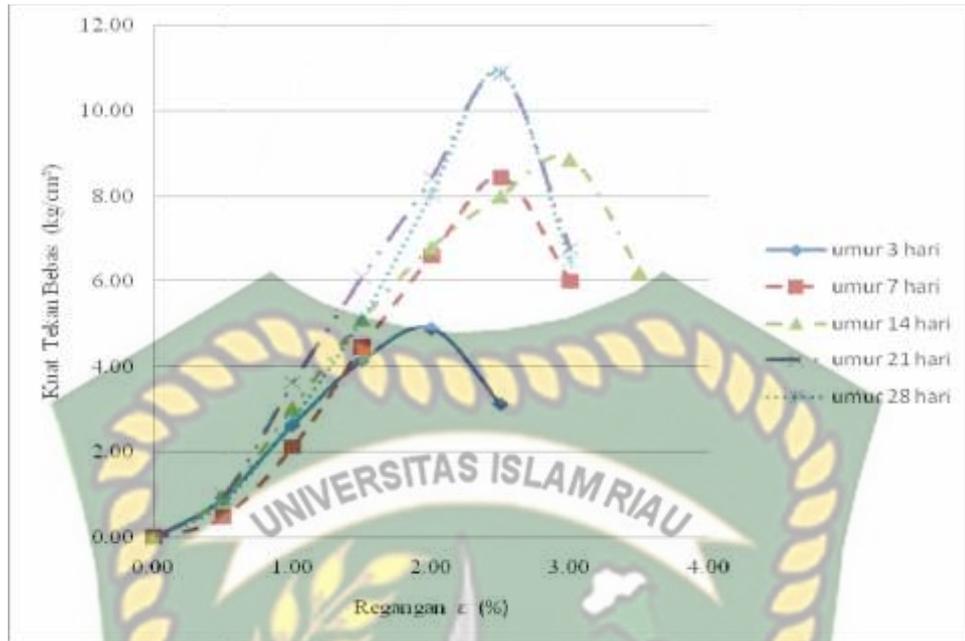
1. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang

Hasil uji kuat tekan bebas untuk jenis pasir sungai Danau Bingkuang seperti terdapat dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang

Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,92	0,49	0,93	0,96	0,81
1	2,63	2,12	3,04	3,61	2,77
1,5	4,13	4,45	5,12	6,10	5,13
2	4,90	6,59	6,80	8,41	8,05
2,5	3,14	8,43	8,02	10,86	10,91
3	-	6,00	8,87	6,76	6,48
3,5	-	-	6,21	-	-

Perbandingan dan kenaikan hasil uji kuat tekan bebas untuk jenis pasir Danau Bingkuang diatas dapat terlihat dengan jelas pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang

Tabel 5.6 dan Gambar 5.2 memperlihatkan bahwa kuat tekan bebas mortar busa yang memakai pasir sungai Danau Bingkuang naik sesuai dengan umurnya, yang terendah pada umur 3 hari 4,9 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 28 hari sebesar 10,91 kg/cm².

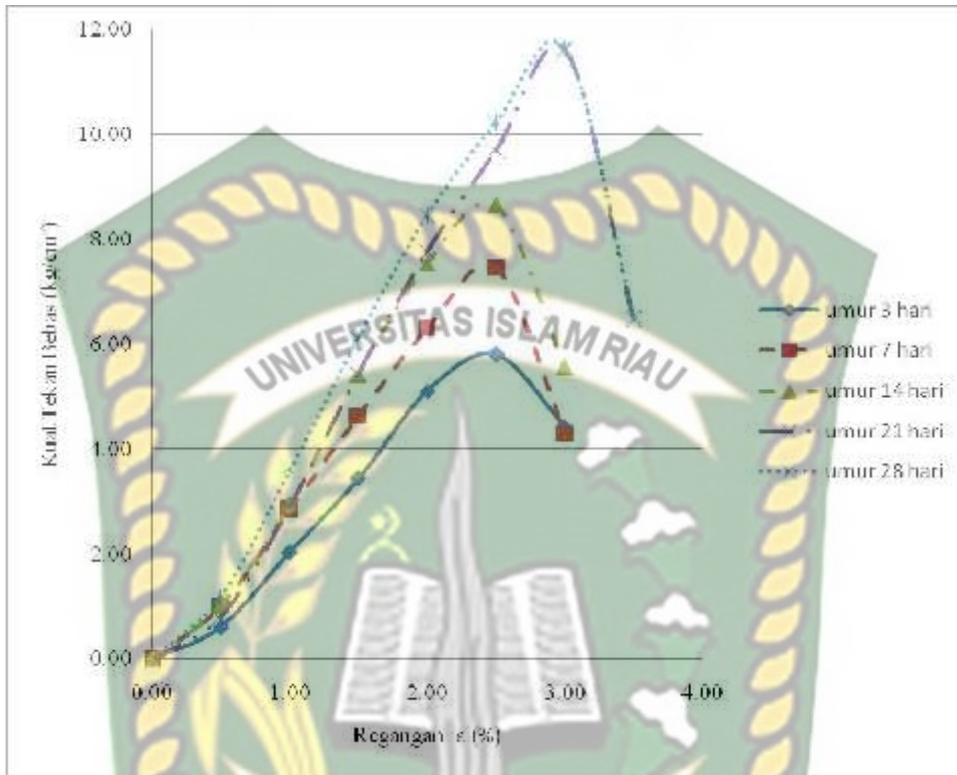
2. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Teratak Buluh

Hasil uji kuat tekan bebas untuk jenis pasir sungai Teratak Buluh seperti terdapat dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Taratak Buluh

Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,61	1,00	1,02	0,79	1,18
1	2,03	2,84	2,95	2,90	3,60
1,5	3,44	4,64	5,41	5,45	6,12
2	5,10	6,30	7,54	7,76	8,45
2,5	5,81	7,45	8,65	9,70	10,23
3	4,43	4,31	5,56	11,61	11,65
3,5	-	-	-	6,47	6,53

Perbandingan kenaikan kuat tekan rata-rata berdasarkan umur untuk pasir Teratak Buluh dapat terlihat jelas pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Teratak Buluh

Tabel 5.7 dan Gambar 5.3 terlihat bahwa kuat tekan bebas mortar busa yang menggunakan pasir sungai Teratak Buluh naik sesuai dengan umurnya, yang terendah pada umur 3 hari 5,81 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 28 hari sebesar 11,65 kg/cm².

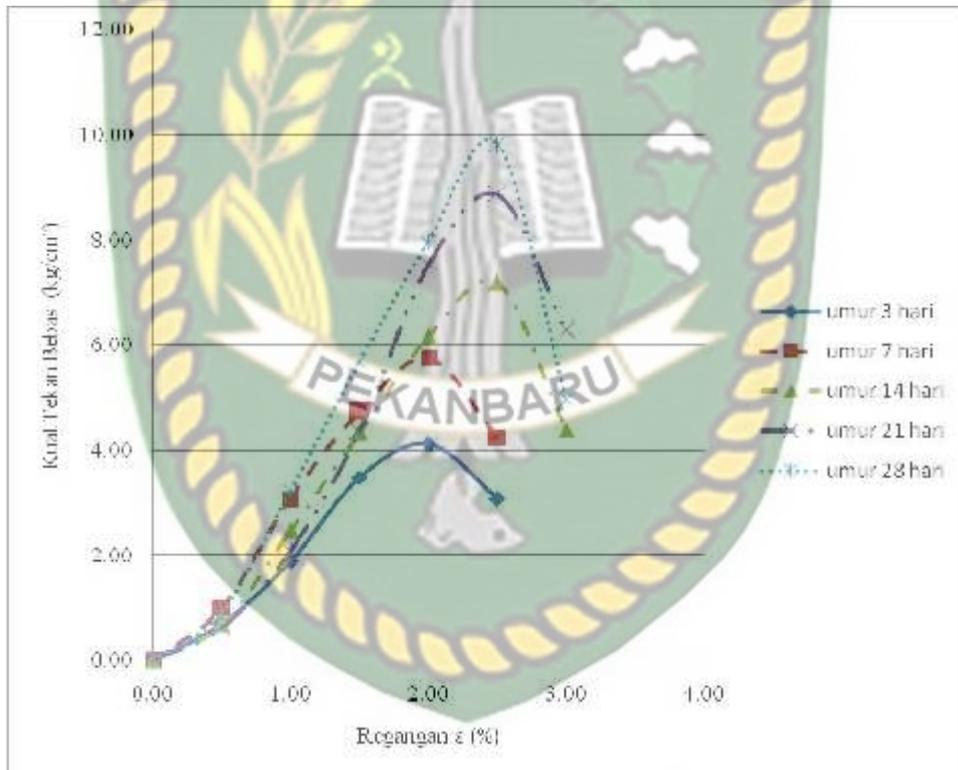
3. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tembilahan

Hasil uji kuat tekan bebas untuk jenis pasir sungai Tembilahan seperti terdapat dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tembilahan

Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,71	0,99	0,69	0,62	0,92
1	1,88	3,08	2,47	2,08	3,23
1,5	3,48	4,74	4,34	4,37	5,70
2	4,12	5,75	6,16	7,53	7,96
2,5	3,08	4,25	7,19	8,87	9,83
3	-	-	4,39	6,29	4,97

Perbandingan kenaikan kuat tekan rata-rata berdasarkan umur untuk pasir Tembilahan dapat terlihat jelas pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tembilahan

Tabel 5.8 dan Gambar 5.4 terlihat kuat tekan bebas (*UCS*) mortar busa yang menggunakan pasir sungai Tembilahan naik sesuai dengan umurnya, yang

terendah pada umur 3 hari 4,12 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 28 hari sebesar 9,83 kg/cm².

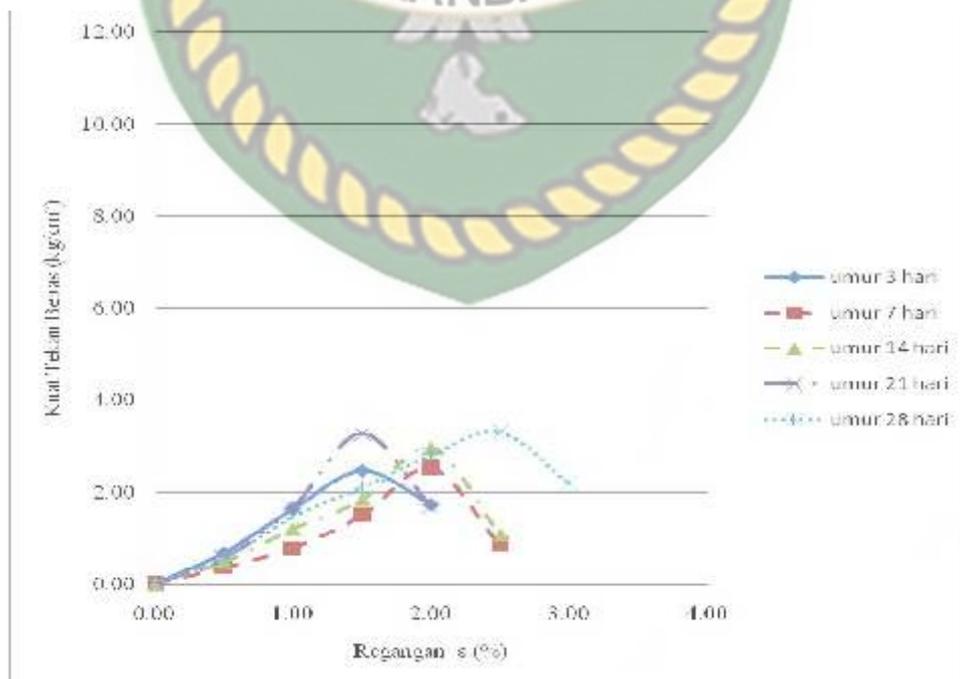
4. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Kulim Pekanbaru

Hasil uji kuat tekan bebas untuk jenis pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru seperti terdapat dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Kulim

Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,68	0,37	0,48	0,57	0,57
1	1,64	0,79	1,20	1,67	1,47
1,5	2,46	1,50	1,85	3,27	2,10
2	1,73	2,52	2,97	1,68	2,81
2,5	-	0,86	1,07	0,00	3,31
3	-	-	-	-	2,18

Perbandingan kenaikan kuat tekan rata-rata berdasarkan umur untuk pasir Kulim Pekanbaru dapat terlihat jelas pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Kulim

Tabel 5.9 dan Gambar 5.5 terlihat bahwasanya kuat tekan bebas (*UCS*) mortar busa yang menggunakan pasir darat/cuci Kulim naik sesuai dengan umurnya, yang terendah pada umur 3 hari 2,46 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 28 hari sebesar 3,31 kg/cm².

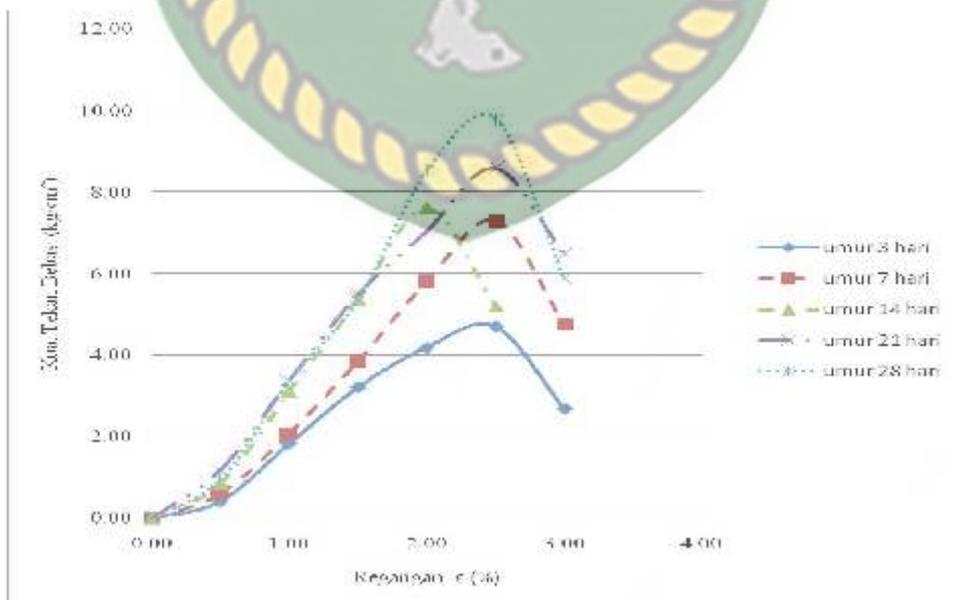
5. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tjg. Balai Karimun

Hasil uji kuat tekan bebas untuk jenis pasir laut Tjg. Balai Karimun seperti terdapat dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tjg. Balai Karimun

Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,41	0,60	0,85	1,18	0,95
1	1,84	2,09	3,11	3,38	3,37
1,5	3,22	3,86	5,35	5,51	5,37
2	4,19	5,81	7,62	7,04	8,51
2,5	4,70	7,29	5,19	8,59	9,80
3	2,68	4,74	-	6,47	5,87

Perbandingan kenaikan kuat tekan rata-rata berdasarkan umur untuk pasir laut Tjg. Balai Karimun dapat terlihat jelas pada Gambar 5.10.



Gambar 5.6 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Tjg. Balai Karimun

Tabel 5.10 dan Gambar 5.6 terlihat bahwasanya kuat tekan bebas (*UCS*) mortar busa yang menggunakan pasir laut Tjg. Balai Karimun naik sesuai dengan umurnya, yang terendah pada umur 3 hari 4,7 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 28 hari sebesar 9,80 kg/cm².

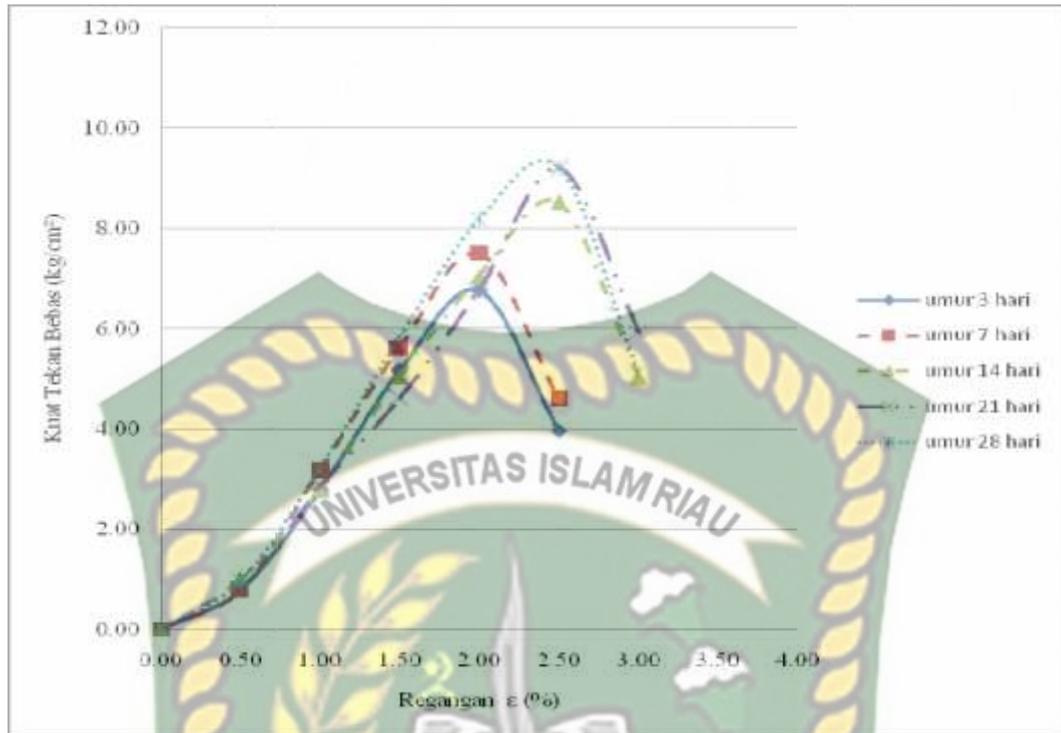
5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (*UCS*) Tanpa Perawatan

Hasil uji kuat tekan bebas pasir sungai Danau Binguang tanpa perawatan atau dibiarkan terbuka di udara bebas seperti pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Binguang tanpa Perawatan

Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,79	0,79	1,01	0,80	0,97
1	2,78	3,16	2,79	2,84	3,21
1,5	5,17	5,62	5,04	4,61	5,84
2	6,77	7,51	7,03	6,75	8,18
2,5	3,96	4,59	8,52	9,20	9,22
3	0,00	0,00	5,03	5,94	5,09

Perbandingan kenaikan kuat tekan rata-rata berdasarkan umur untuk pasir sungai Danau Binguang tanpa perawatan dapat terlihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang tanpa Perawatan

Tabel 5.11 dan Gambar 5.7 terlihat bahwasanya kuat tekan bebas (*UCS*) mortar busa yang menggunakan pasir sungai Danau Bingkuang tanpa perawatan naik sesuai dengan umurnya, yang terendah pada umur 3 hari 6,77 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 28 hari sebesar 9,22 kg/cm².

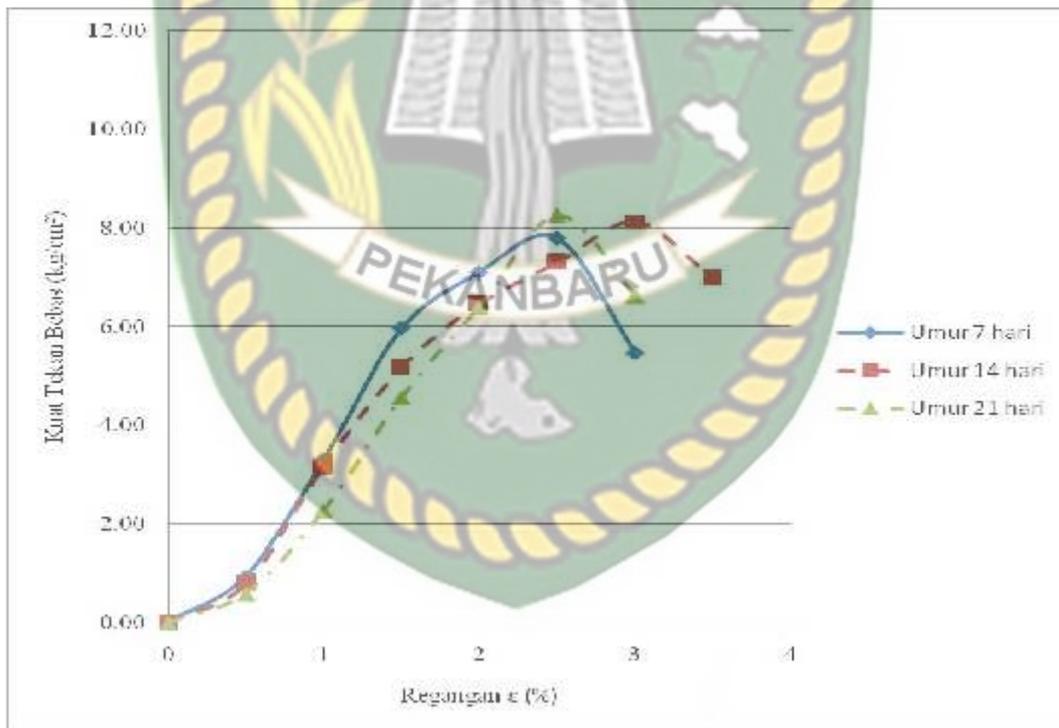
5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (*UCS*) Semen Jenis OPC

Hasil uji kuat tekan bebas material ringan mortar busa yang menggunakan pasir sungai Danau Bingkuang dan semen Padang jenis OPC. Data ini adalah data sekunder yang didapat dari hasil pengujian pada proyek pembangunan *flyover* Simpang Mal SKA Pekanbaru yang sedang berjalan tahun 2018 seperti pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang dengan Semen Padang Tipe I Jenis OPC

Regangan ϵ (%)	Kuat Tekan Bebas Rata-Rata (Kg/Cm ²)				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0	-	0,00	0,00	0,00	-
0,5	-	0,95	0,79	0,59	-
1	-	3,29	3,18	2,27	-
1,5	-	5,97	5,17	4,57	-
2	-	7,10	6,46	6,41	-
2,5	-	7,79	7,30	8,26	-
3	-	5,46	8,13	6,63	-
3,5	-	-	7,00	-	-

Perbandingan kuat tekan bebas mortar busa yang memakai semen OPC dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik Hasil Kuat Tekan Bebas Pasir Danau Bingkuang dan Semen OPC

Tabel 5.12 dan Gambar 5.8 terlihat bahwasanya kuat tekan bebas (*UCS*) mortar busa yang menggunakan pasir sungai Danau Bingkuang dan semen Padang

jenis OPC naik sesuai dengan umurnya, yang terendah pada umur 7 hari sebesar 7,79 kg/cm² dan yang tertinggi pada umur 21 hari sebesar 8,26 kg/cm².

5.5 Perbandingan Kuat Tekan Bebas

Dari hasil pengujian kuat tekan bebas diatas dapat dibuat perbandingan-perbandingan berdasarkan beberapa kondisi.

5.5.1 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Masing-Masing Jenis Pasir Berdasarkan Umur

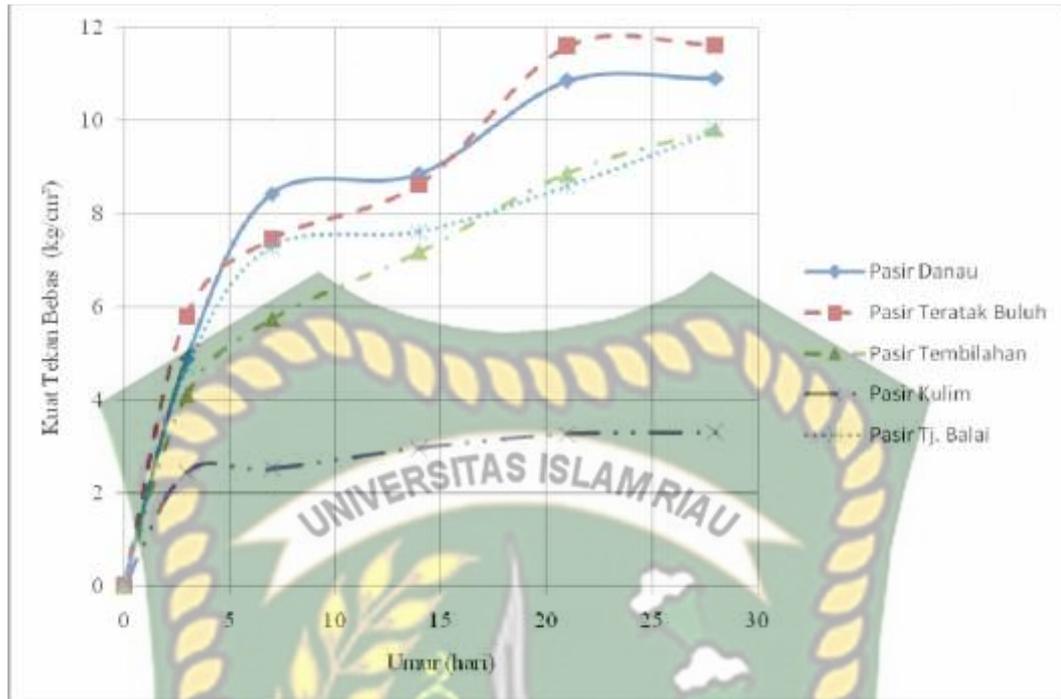
Perbandingan nilai kuat tekan bebas masing-masing jenis pasir berdasarkan umur dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Perbandingan Kuat Tekan Bebas (*UCS*) Mortar Busa Menurut Umur

No.	Jenis Pasir	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)				
		3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1	Pasir Danau Binguang	4,90	8,43	8,87	10,86	10,91
2	Pasir Teratak Buluh	5,81	7,45	8,65	11,61	11,65
3	Pasir Tembilahan	4,12	5,75	7,19	8,87	9,83
4	Pasir Kulim Pekanbaru	2,46	2,52	2,97	3,27	3,31
5	Pasir Tj. Balai Karimun	4,70	7,29	7,62	8,59	9,80

Dari Tabel 5.13 didapat bahwa kuat tekan mortar busa rencana 800 kPa yang tertinggi pada umur 3 hari adalah Pasir Teratak Buluh, umur 7 hari adalah Pasir Danau Binguang , umur 14 hari adalah Pasir Danau Binguang, umur 21 hari adalah pasir Teratak Buluh dan pada umur 28 hari adalah pasir Teratak Buluh, sedangkan kuat tekan terendah di semua umur adalah Pasir Kulim Pekanbaru.

Kecenderungan peningkatan kekuatan tekan mortar busa seiring dengan penambahan umur, dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Menurut Umur

5.5.2 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Yang Dirawat dengan Yang Tidak Dirawat

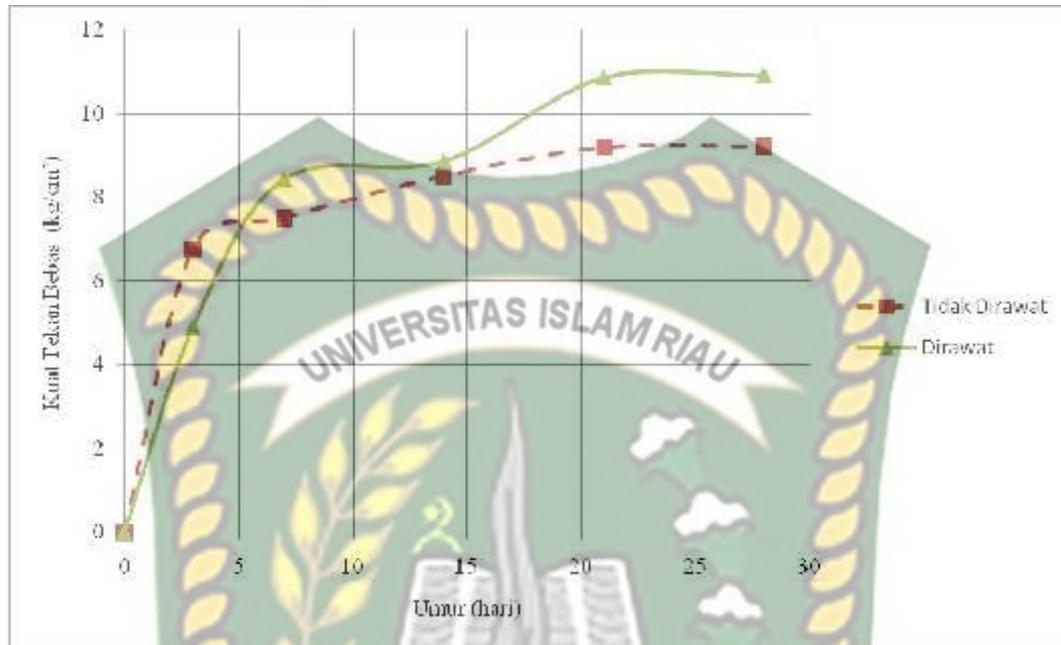
Untuk mendapatkan kuat tekan maksimum material ringan mortar busa diharuskan untuk melakukan perawatan sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yakni dengan membungkus benda uji dengan plastik.

Hasil pengujian antara benda uji yang dirawat dengan yang tidak dirawat (dibiarkan di alam terbuka) khusus dalam hal ini yang diuji hanya untuk pasir Danau Bingkuang dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa yang Dirawat dengan Tidak Dirawat (Khusus Pasir Sungai Danau Bingkuang)

No.	Uraian	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)				
		3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1	Dirawat	4,90	8,43	8,87	10,86	10,91
2	Tidak Dirawat	6,77	7,51	8,52	9,20	9,22
	% kenaikan/penurunan	27,61	-12,26	-4,12	-18,04	-18,34

Perbandingan kuat tekan bebas yang dirawat dengan yang tidak dirawat dapat dilihat dengan jelas pergerakan kenaikannya pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa yang Dirawat dan Tidak Dirawat

Dari Tabel 5.14 dan Gambar 5.10 terlihat dengan jelas bahwa kuat tekan material ringan mortar busa pada umur 3 hari yang tidak dirawat lebih tinggi dibandingkan dengan yang dirawat, namun setelah memasuki umur 7 hari sampai umur 28 hari material ringan mortar busa yang dirawat lebih tinggi hasil kuat tekan bebasnya dari yang tidak dirawat.

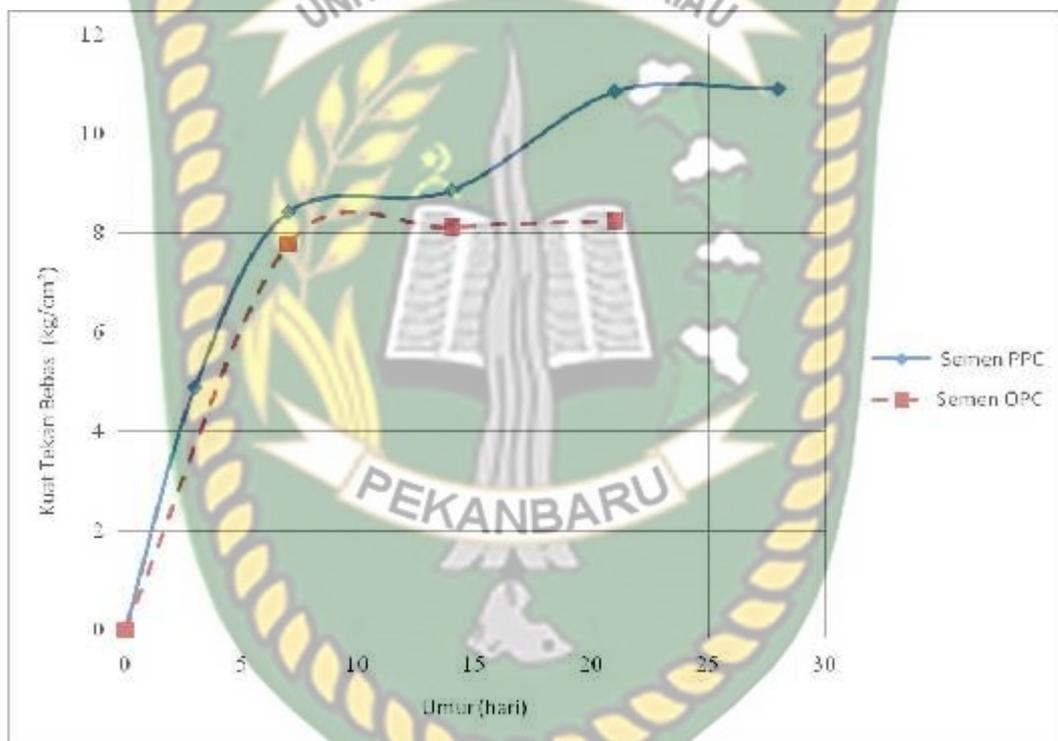
5.5.3 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Memakai Semen Padang Jenis PPC dan OPC

Pemakaian jenis semen antara PPC dan OPC menghasilkan kuat tekan mortar busa yang berbeda walaupun dengan menggunakan jenis pasir yang sama yaitu pasir sungai Danau Bingkuang, hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Memakai Semen PPC dan Semen OPC (Khusus Pasir Sungai Danau Bingkuang)

No.	Uraian	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)				
		3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1	Semen PPC	4,90	8,43	8,87	10,86	10,91
2	Semen OPC	-	7,79	8,13	8,26	-
	% kenaikan/penurunan	-	-8,22	-9,10	-31,48	-

Perbandingan kuat tekan bebas antara pemakaian semen PPC dan semen OPC dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Pemakaian Semen PPC dan Semen OPC

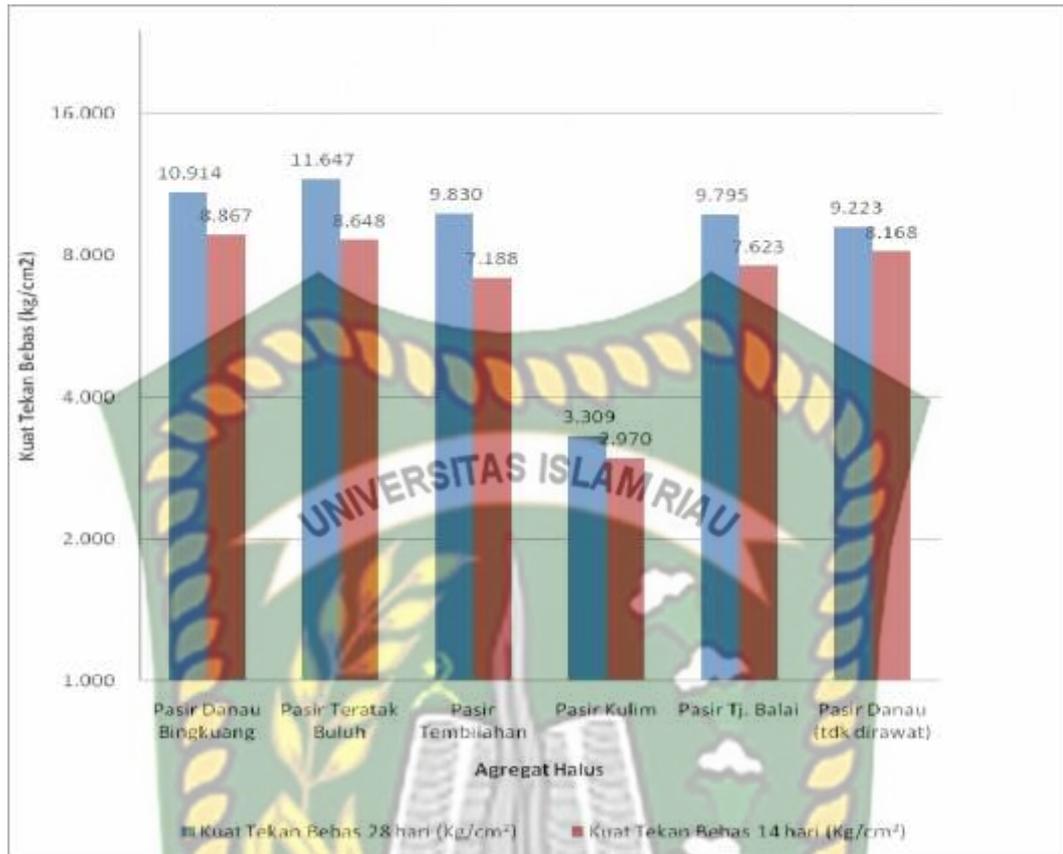
Dari Tabel 5.15 dan Gambar 5.11 dapat terlihat bahwasanya kuat tekan bebas mortar busa yang memakai semen PPC lebih tinggi daripada yang memakai semen OPC pada semua umur.

5.5.4 Perbandingan Kuat Tekan Bebas Mortar Busa Umur 14 hari dengan 28 hari.

Kuat tekan bebas mortar busa umur perawatan selama 14 hari dibandingkan dengan umur perawatan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.16 **Tabel 5.16** Perbandingan Kuat Tekan Bebas Umur 14 hari dengan 28 hari

No.	Jenis Pasir	Kuat Tekan Bebas UCS (kg/cm ²)		Persentase Penurunan/Kenaikan (%)
		14 hari	28 hari	
1	Pasir Danau Bingkuang	8,87	10,91	23,10
2	Pasir Teratak Buluh	8,65	11,65	34,68
3	Pasir Tembilahan	7,19	9,83	36,75
4	Pasir Kulim Pekanbaru	2,97	3,31	11,43
5	Pasir Tjg. Balai Karimun	7,62	9,80	28,49

Dari Tabel 5.16 terlihat bahwa kuat tekan bebas mortar busa semua jenis pasir umur 28 hari lebih tinggi dari umur 14 hari dengan persentase kenaikan yang berbeda antara 11 % - 37 %. Perbandingan kuat tekan bebas antara umur 14 hari dengan umur 28 hari dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Bebas Umur 14 hari dengan Umur 28 hari

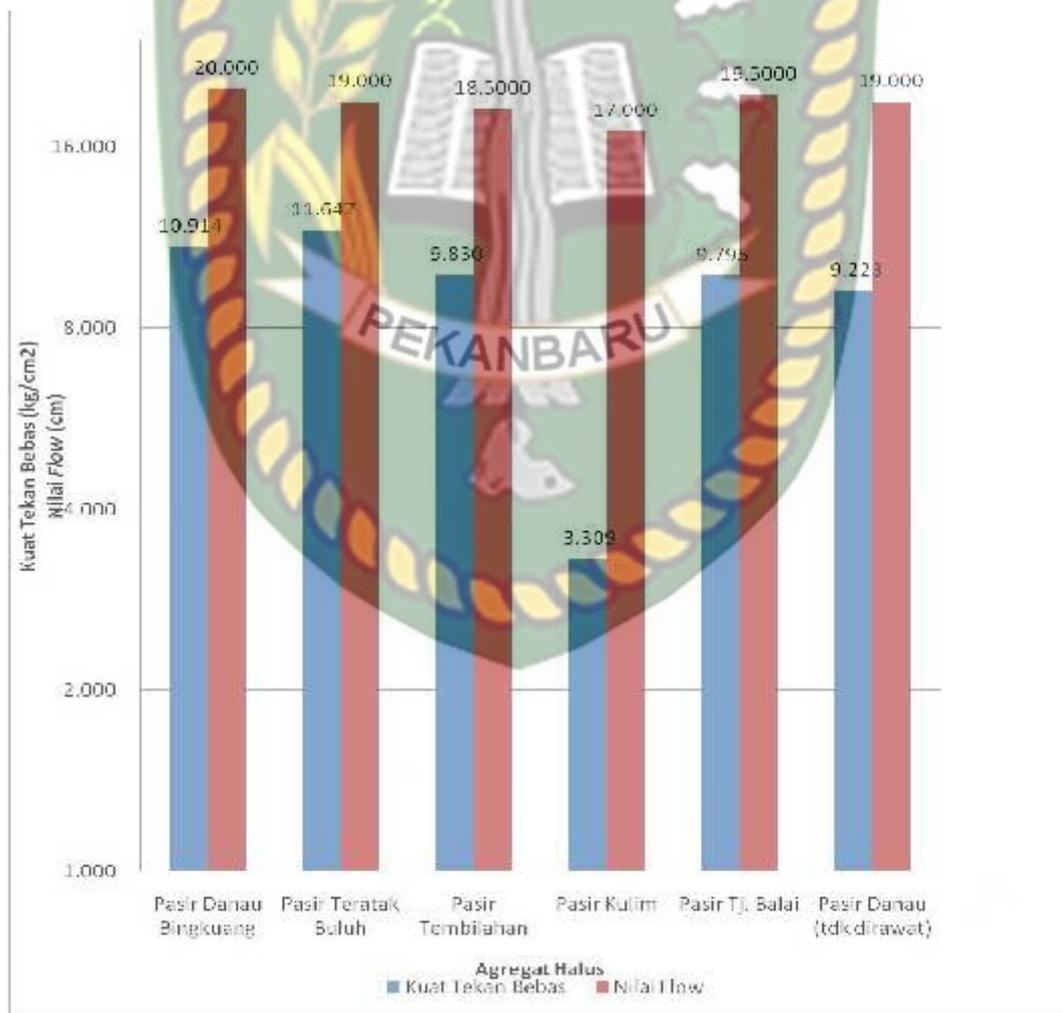
5.6 Hubungan Kuat Tekan Bebas dengan Nilai *Flow*

Hubungan kuat tekan bebas dengan nilai *flow* material ringan mortar busa khusus menggunakan pasir Danau Bingkuang pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hubungan Kuat Tekan Bebas Dengan Nilai *Flow* (Khusus Memakai Pasir Danau Bingkuang)

No	Agregat Halus	Nilai <i>Flow</i> (Cm)	Kuat Tekan Bebas (Kg/cm²)
1	Pasir Danau Bingkuang	20,000	10,914
2	Pasir Teratak Buluh	19,000	11,647
3	Pasir Tembalahan	18,500	9,830
4	Pasir Kulim Pekanbaru	17,000	3,309
5	Pasir Tj. Balai Karimun	19,500	9,795
6	Pasir Danau Bingkuang (tdk dirawat)	19,000	9,223

Dari Tabel 5.17 dapat dilihat bahwasanya tidak ada korelasi khusus yang terjadi antara nilai *flow* dengan besarnya kuat tekan bebas mortar busa, dimana nilai *flow* berada dalam *range* yang sudah ditetapkan oleh standar PUPERA. Nilai *flow* yang terendah ada pada pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu 17 cm, sementara nilai *flow* yang tertinggi ada pada pasir sungai Danau Binguang yakni 20 cm. Dalam hal kuat tekan bebas yang terendah berada pada pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yakni 3,309 kg/cm² dan kuat tekan bebas yang tertinggi pada pasir sungai Teratak Buluh yaitu 11,647 kg/cm². Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Nilai *Flow* dengan Kuat Tekan Bebas

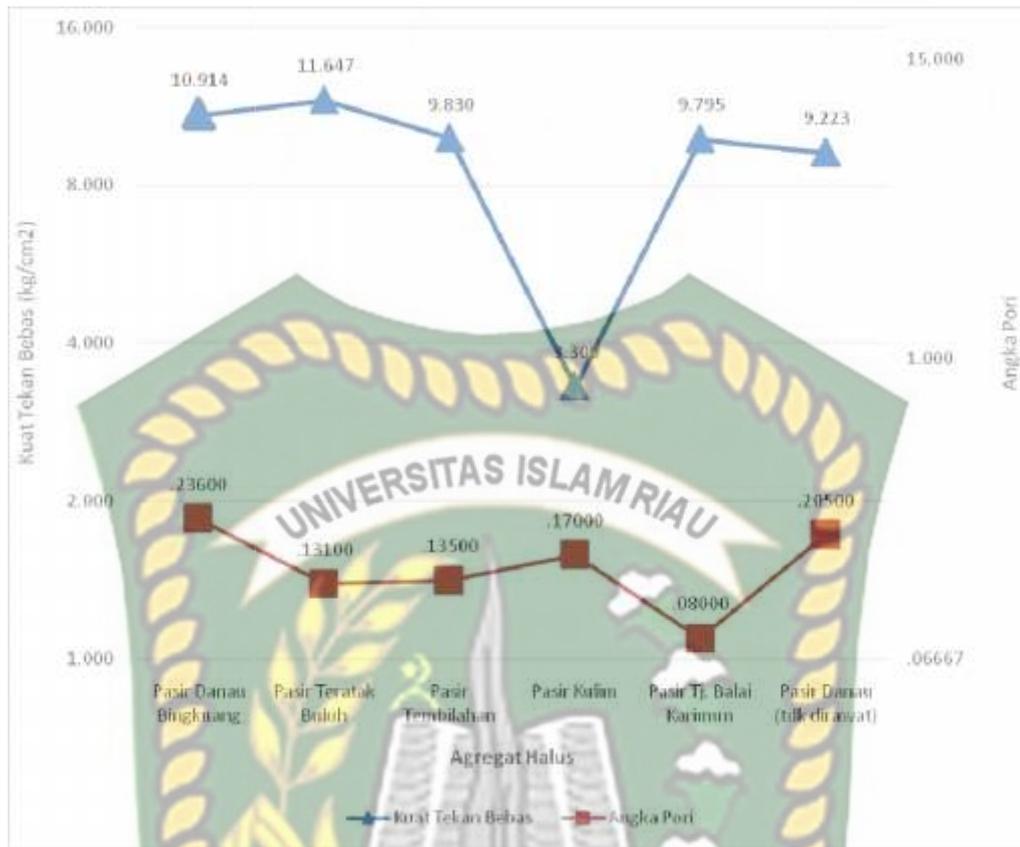
5.7 Hubungan Kuat Tekan Bebas dengan Angka Pori

Hubungan kuat tekan bebas dengan angka pori material ringan mortar busa khusus menggunakan pasir Danau Bingkuang dan umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.18

Tabel 5.18 Hubungan Kuat Tekan Bebas dengan Angka Pori (Khusus Memakai Pasir Danau Bingkuang)

No	Jenis Agregat	Angka Pori	Kuat Tekan Bebas (Kg/Cm ²)
1	Pasir Danau Bingkuang	0,236	10,914
2	Pasir Teratak Buluh	0,131	11,647
3	Pasir Tembilahan	0,135	9,830
4	Pasir Kulim	0,170	3,309
5	Pasir Tj. Balai Karimun	0,080	9,795
6	Pasir Danau Bingkuang (tdk dirawat)	0,205	9,223

Dari Tabel 5.18 dapat dilihat bahwasanya antara angka pori dengan kuat tekan bebas mortar busa tidak secara otomatis bahwa semakin kecil angka pori semakin besar pula kuat tekan bebas yang didapat. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Grafik Hubungan Antara Angka Pori dengan Kuat Tekan Bebas

5.8 Modulus Elastisitas

Dari hasil pengujian didapatkan angka modulus elastisitas material ringan mortar busa dengan masing-masing pemakaian jenis pasir. Untuk menentukan nilai modulus elastisitas ini menggunakan dua metode yaitu metode empiris dan metode analitis. Modulus elastisitas diambil dari data umur 28 hari.

5.8.1 Modulus Elastisitas Mortar Busa Metode Analitis Tegangan-Regangan

Modulus elastisitas mortar busa dapat juga dihitung dengan menggunakan metode analitis data yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium dengan menganalisis hubungan tegangan dan regangan. Contoh perhitungan modulus elastisitas berdasarkan analitis dapat dilihat seperti dibawah ini.

Untuk pasir sungai Danau Bingkuang hasil uji kuat tekan mortar busa pada umur 28 hari adalah :

$$= 10,91 \text{ kg/cm}^2 \quad = 1091,45 \text{ kPa} \quad = 1,09 \text{ mPa}$$

$$\epsilon = 2,50$$

$$E_s = \sigma / (\epsilon \times 10^{-3})$$

$$E_s = 1,09 / (2,5 \times 10^{-3})$$

$$E_s = 436,58 \text{ mPa}$$

Hasil perhitungan metode analitis selanjutnya disajikan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Modulus Elastisitas Mortar Busa dengan Berbagai Jenis Pasir Berdasarkan Metode Analitis Tegangan- Regangan

Jenis Pasir	Regangan (%)	Kuat Tekan Bebas (UCS)		Modulus Elastisitas
		Kg/cm ²	mPa	Es = $\sigma / (\epsilon \times 10^{-3})$ mPa (N/mm ²)
Pasir Danau Bingkuang	2,50	10,91	1,09	436,58
Pasir Teratak Buluh	3,00	11,65	1,16	388,23
Pasir Tembilahan	2,50	9,83	0,98	393,20
Pasir Kulim Pekanbaru	2,50	3,31	0,33	132,36
Pasir Tj. Balai Karimun	2,50	9,80	0,98	391,81

Dari Tabel 5.19 dapat dilihat modulus elastisitas tertinggi mortar busa adalah yang menggunakan pasir sungai Danau Bingkuang yakni 436,58 mPa dan yang terendah adalah yang memakai pasir darat Kulim yakni 132,36 mPa.

5.8.2 Modulus Elastisitas Mortar Busa Metode Grafis

Modulus elastisitas mortar busa dapat juga dihitung menggunakan metode analitis-grafis antara lain :

1. Menggunakan Rumus Eurocode 2-1992

Contoh perhitungan modulus elastisitas berdasarkan rumus Eurocode 2-1992 dapat dilihat seperti di bawah ini.

Untuk pasir sungai Danau Binguang hasil uji kuat tekan bebas mortar busa pada umur 28 hari adalah :

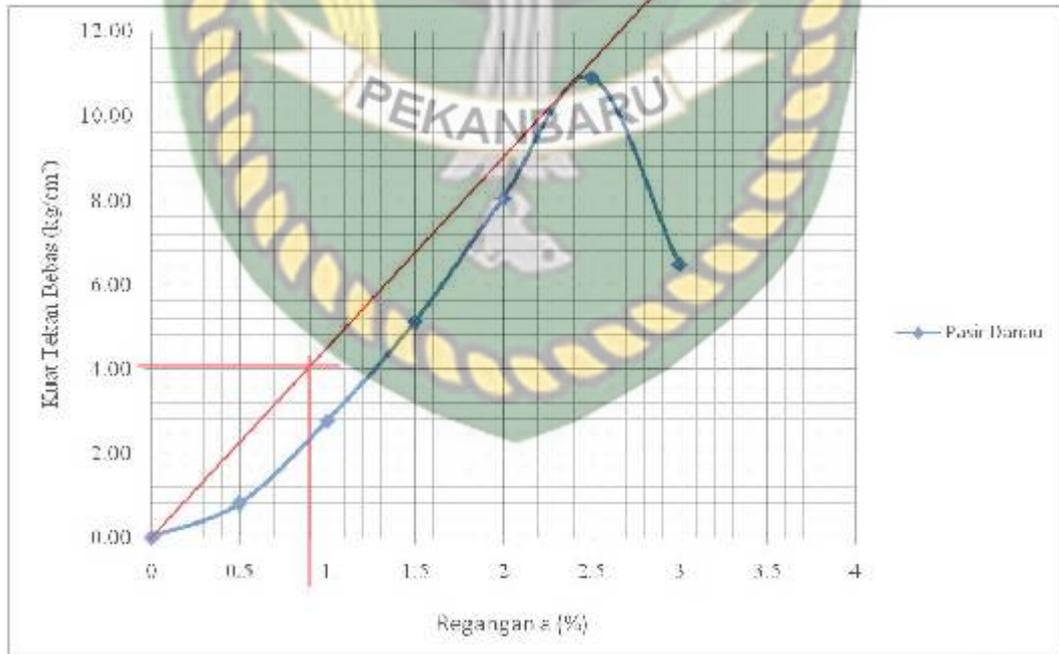
$$\begin{aligned}
 &= 10,91 \text{ kg/cm}^2 &= 1091,45 \text{ kPa} &= 1,09 \text{ mPa} \\
 &= 2,5 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$E_c = (0,4 f'c - \epsilon_1) / (0,4 f'c) - \epsilon_1$$

$$E_c = (0,4 \cdot 1,09 - 0) / (0,9 - 0)$$

$$E_c = 4.850,87 \text{ kg/cm}^2 = 485,09 \text{ mPa}$$

Untuk mendapatkan angka-angka tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik Modulus Elastisitas Rumus Eurocode 2-1992

Hasil perhitungan jenis pasir yang lain selanjutnya disajikan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Modulus Elastisitas Mortar Busa dengan Berbagai Jenis Pasir Berdasarkan Rumus Eurocode 2-1992

Jenis Pasir	Kuat Tekan Bebas		0.4 f'c (mPa)	(0,4 f'c) x 10 ⁻³	Modulus Elastisitas Ec=0,4 f'c/ (0,4 f'c)
	Kg/cm ²	mPa			
Pasir Danau Binguang	10.91	1.09	0.44	0.90	485.09
Pasir Teratak Buluh	11.65	1.16	0.47	1.10	423.53
Pasir Tembilahan	9.83	0.98	0.39	0.81	485.43
Pasir Kulim Pekanbaru	3.31	0.33	0.13	0.97	136.46
Pasir Tj. Balai Karimun	9.80	0.98	0.39	0.89	440.23

Tabel 5.20 memperlihatkan modulus elastisitas tertinggi mortar busa menggunakan rumus Eurocode 2-1992 adalah dengan menggunakan pasir Tembilahan yakni 485,43 mPa dan yang terendah adalah yang memakai pasir Kulim yakni 136,46 mPa.

2. Menggunakan Rumus ASTM C469

Contoh perhitungan modulus elastisitas menggunakan rumus ASTM C469 dapat dilihat seperti dibawah ini.

Untuk pasir sungai Danau Binguang hasil uji kuat tekan bebas mortar busa pada umur 28 hari adalah :

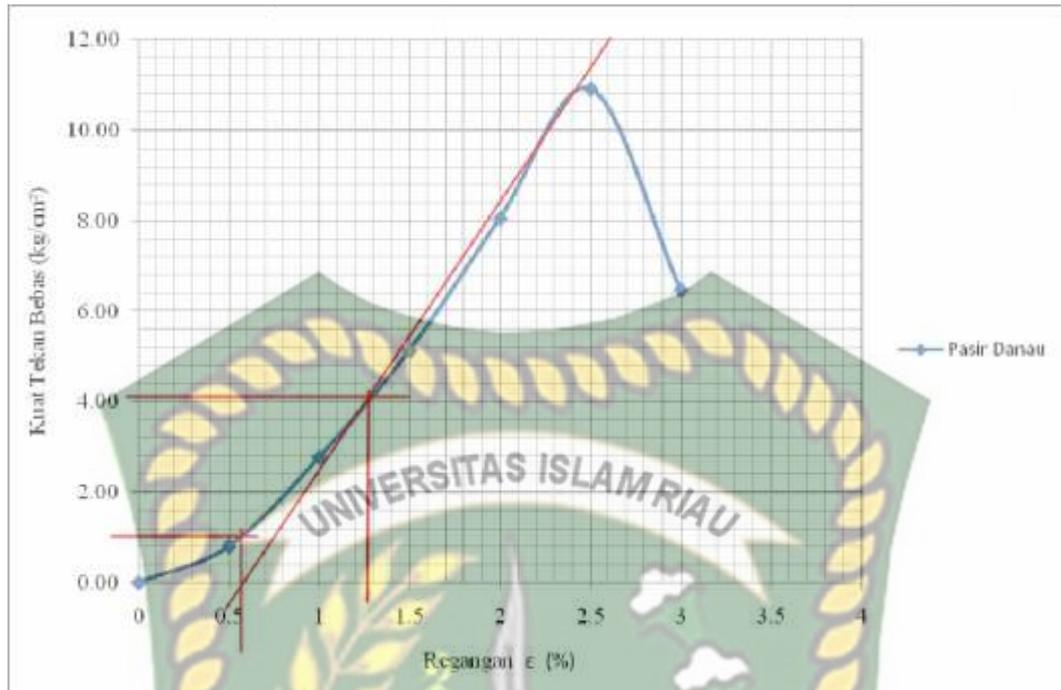
$$\begin{aligned}
 &= 10,91 \text{ kg/cm}^2 & = 1091,45 \text{ kPa} & = 1,09 \text{ mPa} \\
 &= 2,5 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$E_c = (0,4 f'c - 1,20) / (0,4 f'c) - \epsilon_1$$

$$E_c = (0,4 \cdot 1,09 - 1,20) / (1,28 - 0,58)$$

$$E_c = 4.522,55 \text{ kg/cm}^2 = 452,26 \text{ mPa}$$

Untuk mendapatkan angka-angka tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Grafik Modulus Elastisitas Rumus ASTM C469

Hasil perhitungan jenis pasir yang lain selanjutnya disajikan pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Modulus Elastisitas Mortar Busa dengan Berbagai Jenis Pasir Berdasarkan Rumus ASTM C469

Jenis Pasir	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	0,4 f _c (kg/cm ²)	(0,4 f _c) (x 10 ⁻³)	$\frac{1}{(x 10^{-3})}$	$\frac{1}{(kg/cm^2)}$	E _c (kg/cm ²)	E _c (mPa)
Pasir Danau Bingkuang	10,91	4,37	1,28	0,58	1,20	4.522,55	452,26
Pasir Teratak Buluh	11,65	4,66	1,18	0,24	0,60	4.317,85	431,78
Pasir Tembilahan	9,83	3,93	1,14	0,30	0,45	4.145,22	414,52
Pasir Kulim Pekanbaru	3,31	1,32	1,00	0,10	0,20	1.248,49	124,85
Pasir Tj. Balai Karimun	9,80	3,92	1,08	0,30	0,45	4.446,26	444,63

Tabel 5.21 memperlihatkan modulus elastisitas tertinggi mortar busa memakai rumus ASTM C469 adalah yang menggunakan pasir Danau Bingkuang 452,26 mPa dan yang terendah adalah yang memakai pasir Kulim yakni 124,85 mPa.

5.8.3 Perbandingan Modulus Elastisitas Mortar Busa Memakai Metode Analitis dan Grafis

Perbandingan hasil perhitungan modulus elastisitas mortar busa memakai berbagai jenis pasir dengan menggunakan metode analitis dan grafis disajikan dalam Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Mortar Busa Memakai Berbagai Metode

Jenis Pasir	Perhitungan Modulus Elastisitas (mPa)		
	Metode Analitis $E_s = \dots / (\dots \times 10^{-3})$	Metode Grafis $E_c = 0.4 f'_c / \epsilon(0.4f'_c)$	Metode Grafis $E_c = (0.4 f'_c - T1) / \epsilon(0.4f'_c) - \epsilon 1$
	<i>HOOKE</i>	<i>EUROCODE 2-1992</i>	<i>ASTM C469</i>
Pasir Danau Bingkuang	436,58	485,09	452,26
Pasir Teratak Buluh	388,23	423,53	431,78
Pasir Tembilahan	393,20	485,43	414,52
Pasir Kulim Pekanbaru	132,36	136,46	124,85
Pasir Tj. Balai Karimun	391,81	440,23	444,63

Dari Tabel 5.22 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai angka modulus elastisitas berdasarkan perhitungan metode analitis dengan metode grafis. Secara keseluruhan modulus elastisitas yang tertinggi ada pada pasir sungai Danau Bingkuang dan yang terendah ada pada pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru.

5.9 Pembahasan Hasil

Setelah hasil pengujian didapatkan kemudian dianalisa, maka hasil tersebut dibahas lebih dalam dan dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian atau standar-standar yang sudah ada. Beberapa hal yang dibahas khusus adalah sebagai berikut.

5.9.1 Pengaruh Kadar Lumpur Pasir Terhadap Kuat Tekan Bebas Mortar Busa

Dari hasil pengujian di laboratorium didapat hasil kuat tekan bebas mortar busa berbeda antara berbagai jenis pasir yang diuji sesuai dengan Tabel 5.13. Dari data Tabel 5.13 tersebut terlihat bahwa empat jenis pasir (Danau Binguang, Teratak Buluh, Tembilahan dan Tjg. Balai Karimun) nilai kuat tekan bebas (*UCS*) nya tidak terlalu besar perbedaannya. Namun jika dibandingkan dengan pasir yang berasal dari Kulim Pekanbaru di segala umur terlihat perbedaan nilai kuat tekan bebasnya sangat signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satunya adalah kandungan material lain yang terdapat pada pasir tersebut, antara lain adalah kadar lumpur. Dari hasil uji kadar lumpur yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya dari berbagai jenis pasir di atas seperti disajikan pada Tabel 5.23 (Azzahra, 2018).

Tabel 5.23 Perbandingan Kadar Lumpur Agregat Halus

No	Quarry Agregat Halus	Kadar Lumpur (%)	Keterangan
1	Danau Binguang	2,770*	< 5% Memenuhi
2	Teratak Buluh	0,846	< 5% Memenuhi
3	Tembilahan	0,925	< 5% Memenuhi
4	Kulim Pekanbaru	5,161	> 5% Tidak memenuhi
5	Tj. Balai Karimun	0,903	< 5% Memenuhi

* Sumber Proyek *flyover* Simpang Mal SKA Pekanbaru, (2018)

Dari Tabel 5.23 terlihat bahwasanya kadar lumpur pasir semua jenis berada di bawah 5%, kecuali pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru, sehingga nilai kuat tekan bebas (*UCS*) nya jauh di bawah nilai kuat tekan bebas (*UCS*) pasir yang lain. Disamping itu, faktor bentuk butiran dari agregat juga mempengaruhi kuat tekan bebas mortar atau beton antara lain , kekasaran permukaan, kekerasan dan ukuran maksimum butir agregat. Bentuk dari agregat akan berpengaruh

terhadap *interlocking* antar agregat, semakin luas bidang kontak antara butiran agregat dengan pasta semen (Calcium Silicate Hydrate) membuat material mortar atau beton menjadi semakin kuat dan kompak (Wiyono, 2017).

5.9.2 Pengaruh Kandungan Kimia Semen PPC dan OPC Terhadap Kuat Tekan Bebas Mortar Busa

Dari hasil pengujian di laboratorium terdapat perbedaan kuat tekan bebas material ringan mortar busa yang memakai semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Pozzoland Portland Cement* (PPC) seperti pada Tabel 5.15. Hal ini terjadi akibat dari perbedaan jumlah komposisi kimia yang terdapat di dalam masing-masing jenis semen. Berdasarkan hasil penelitian, kandungan mineral dari semen PPC dan OPC yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 5.24 (Sumber Astuti, 2006).

Tabel 5.24 Perbandingan Kandungan Kimia Semen PPC dan OPC

No	Jenis Komposisi Kimia	PPC (%)	OPC (%)
1	Silikon Dioksida (SiO ₂)	23,13	20,92
2	Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	8,76	5,49
3	Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃)	4,62	3,78
4	Kalsium Oksida (CaO)	58,66	65,21
5	Magnesium Oksida (MgO)	0,90	0,97
6	Sulfur Trioksida (SO ₃)	2,18	2,22
7	Hilang Pijar (LOI)	1,69	1,35
8	Kapur Bebas	0,69	0,59
9	Bagian tidak larut	8,82	0,43

Dari Tabel 5.24 di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kandungan kimia pada semen PPC dengan semen OPC dimana jumlah SiO₂ + Fe₂O₃ + Al₂O₃ pada PPC sebesar 36,51% sedangkan pada semen OPC sebesar 30,19%. Jumlah tersebut menunjukkan semen PPC memiliki sifat pozzolan yang lebih tinggi

dibandingkan semen OPC. Sifat pozzolan tersebut akan mengakibatkan kekuatan beton yang semakin baik dengan bertambahnya umur beton.

5.9.3 Pengaruh Sifat Fisik Agregat Halus Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Mortar Busa

Secara keseluruhan data hasil pengujian dan hasil perhitungan dapat ditampilkan dalam Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Hasil Pengujian dan Perhitungan Material Ringan Mortar Busa

No	Keterangan	Jenis Agregat Halus					
		Pasir Danau Binguang	Pasir Teratak Buluh	Pasir Tembilahan	Pasir Kulim Pekanbaru	Pasir Tjg. Balai Karimun	Tanpa Perawatan
1	Gradasi Zona 2	Masuk	Masuk	Tidak	Tidak	Masuk	Masuk
2	Berat isi (Wc) kg/m ³	814,00	852,00	812,00	809,00	853,00	845,00
3	Nilai Flow	20,00	19,00	18,50	17,00	19,50	19,00
4	Angka Pori	0,236	0,131	0,135	0,170	0,080	0,205
5	Regangan ()	2,50	3,00	2,50	2,50	2,50	2,50
6	Metode Analitis $E_s = \frac{1}{(x \times 10^{-3})}$	436,58	388,23	393,20	132,36	391,81	368,80
7	Metode Grafis $E_c = 0.4 f'c / (0.4f'c)$	485,09	423,53	485,43	136,46	440,23	409,78
8	Metode Grafis $E_c = (0.4 f'c - T1) / (0.4f'c) - 1$	452,26	431,78	414,52	124,85	444,63	409,87

Dari Tabel 5.25 terlihat bahwa pasir yang berada dalam zona gradasi 2 lebih tinggi kuat tekan bebasnya daripada yang tidak masuk zona 2. Ini memperlihatkan bahwasanya faktor kehalusan butiran pasir mempengaruhi kuat tekan bebas mortar busa. Faktor berat isi mortar busa kecuali pasir laut menunjukkan bahwa semakin besar berat isi mortar busa kuat tekan bebas semakin tinggi. Nilai *flow* yang terdapat pada rentang yang dipersyaratkan tidak mempengaruhi kuat tekan bebas mortar busa. Angka pori tidak berpengaruh besar

terhadap kuat tekan bebas mortar busa. Modulus elastisitas mortar busa dapat dihitung dengan berbagai metode dan rumus, baik secara analitis, empiris maupun grafis. Hasil yang didapatkan dari perhitungan rumus analitis dan grafis lebih kecil perbedaannya dibandingkan dengan memakai rumus-rumus empiris. Sehingga disini nilai modulus elastisitas yang dipergunakan hanya yang memakai rumus analitis dan grafis.



BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian, analisis data serta pembahasan yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Angka pori rata-rata mortar busa yang terbesar adalah yang memakai agregat halus pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu 0,246 dan yang terkecil adalah mortar busa yang memakai agregat halus pasir laut Tjg. Balai Karimun yakni 0,113.
2. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kuat tekan bebas mortar busa pada umur 3 hari yang tertinggi adalah yang menggunakan agregat halus pasir sungai Teratak Buluh yakni 5,81 kg/cm² dan yang terendah adalah yang menggunakan agregat halus pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu 2,46 kg/cm². Sedangkan kuat tekan bebas pada umur 7 hari yang tertinggi adalah yang menggunakan pasir sungai Danau Bingkuang yakni 8,43 kg/cm² dan yang terendah adalah pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu 2,52 kg/cm². Untuk umur 14 hari kuat tekan bebas yang tertinggi adalah mortar busa yang menggunakan pasir sungai Danau Bingkuang yakni 8,87 kg/cm² dan yang terendah adalah yang menggunakan pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu 2,97 kg/cm². Sementara pada umur 21 hari kuat tekan bebas yang tertinggi adalah mortar busa yang menggunakan pasir sungai Teratak Buluh yakni 11,61 kg/cm² dan yang terendah adalah yang menggunakan pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru. Untuk umur 28 hari kuat tekan bebas yang tertinggi adalah

mortar busa yang menggunakan pasir Teratak Buluh yakni $11,65 \text{ kg/cm}^2$ dan yang terendah adalah yang menggunakan pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu $3,31 \text{ kg/cm}^2$.

3. Kuat tekan bebas mortar busa yang menggunakan semen jenis PPC disemua umur lebih tinggi dari mortar busa yang menggunakan semen jenis OPC antara 8 % - 31 %
4. Kuat tekan bebas mortar busa yang dirawat pada umur 3 hari yakni $4,90 \text{ kg/cm}^2$ lebih rendah dari yang tidak dirawat yaitu $6,77 \text{ kg/cm}^2$. Tetapi pada umur 7 hari sampai dengan umur 28 hari kuat tekan bebas mortar busa yang dirawat lebih tinggi yakni berturut-turut $8,43 \text{ kg/cm}^2$, $8,87 \text{ kg/cm}^2$, $10,86 \text{ kg/cm}^2$ dan $10,91 \text{ kg/cm}^2$ lebih tinggi daripada yang tidak dirawat atau dibiarkan di udara terbuka yaitu berturut-turut $7,51 \text{ kg/cm}^2$, $8,52 \text{ kg/cm}^2$, $9,20 \text{ kg/cm}^2$ dan $9,22 \text{ kg/cm}^2$. Perbandingan kuat tekan bebas antara mortar busa yang dirawat dengan yang tidak dirawat terjadi penurunan antara 4 – 18 %.
5. Pasir yang mempunyai modulus elastisitas yang tertinggi pada umur 28 hari dengan menggunakan metode analitis (hukum Hooke) modulus elastisitas yang tertinggi adalah pasir sungai Danau Bingkuang yakni $4.365,8 \text{ kg/cm}^2$ dan yang terendah adalah pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu $1.323,6 \text{ kg/cm}^2$. Untuk metode grafis rumus (Eurocode 2-1992) modulus elastisitas tertinggi ada pada pasir sungai Tembilahan yaitu $4.854,3 \text{ kg/cm}^2$ dan yang terendah pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu $1.364,6 \text{ kg/cm}^2$, dan yang menggunakan metode grafis rumus (ASTM C469) modulus elastisitas yang tertinggi adalah pasir sungai Danau Bingkuang yakni $4.522,6 \text{ kg/cm}^2$ dan

yang terendah adalah pasir darat/cuci Kulim Pekanbaru yaitu sebesar 1.248,5 kg/cm².

6. Agregat halus yang bisa dipergunakan untuk campuran material ringan mortar busa khusus untuk bahan lapisan pondasi bawah dengan kuat tekan bebas minimum 800 kPa pada umur 14 hari adalah pasir sungai Teratak Buluh yaitu 8,65 kg/cm² atau 865 kPa dan pasir sungai Danau Bingkuang yaitu 8,87 kg/cm² atau 887 kPa.

6.2 Saran

Dari beberapa kesimpulan yang telah diambil diatas, maka disarankan beberapa hal yaitu :

1. Untuk mengetahui hubungan angka pori dengan kuat tekan bebas (*UCS*) material ringan mortar busa yang lebih akurat dan mendalam perlu dilakukan penelitian lanjutan yang lebih terfokus kepada permasalahan tersebut.
2. Berdasarkan hasil uji kuat tekan bebas (*UCS*) yang dihasilkan material ringan mortar busa yang menggunakan semen PPC dan OPC, maka disarankan agar dalam pelaksanaan pekerjaan dilapangan untuk menggunakan semen jenis PPC.
3. Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas material ringan mortar busa yang lebih akurat dan hubungannya dengan kuat tekan bebas (*UCS*), diharapkan agar dapat dilakukan penelitian lanjutan kedepannya.
4. Dengan berpedoman dari hasil uji kuat tekan bebas material ringan mortar busa yang telah didapatkan, maka disarankan kepada pemerintah dan pihak-pihak yang berkepentingan untuk dapat menggunakan pasir sungai Danau

Bingkang dan pasir sungai Teratak Buluh sebagai bahan campuran untuk membuat material ringan mortar busa yang akan dipakai pada kontsruksi lapisan jalan khususnya pada lapisan pondasi bawah dan timbunan oprit jembatan.



DAFTAR PUSTAKA

- Aldiamar, 2015. *Laporan Akhir: Paket Kerja Teknologi Overpass Menggunakan Struktur Baja Bergelombang*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum.
- ASTM C469, 2002. *Standard Test Method For Static Modulus Of Elasticity And Poisson's Ratio Of Concrete In Compression*, United State : ASTM
- Astuti, A. W., 2006. *Perancangan Kegiatan Perawatan Yang Optimal Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II)*. Tugas Akhir, Fakultas Teknologi Industri. ITS Surabaya.
- Atamini, H., 2018. *Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus : Flyover Antapani, Kota Bandung)*, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Azzahara, AS, 2018. *Pengaruh Penggunaan Tiga Jenis Pasir Terhadap Kuat Tekan Mortar Busa Sebagai Timbunan Oprit*. Skripsi. Universitas Islam Riau, Pekanbaru
- Bahari, SR, 2017. *Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) dalam Perencanaan Flyover Antapani*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Das, B.M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Mekanika Tanah)* Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Dipohusodo, I, 1993, *Struktur beton Bertulang*. Jakarta: DPU.
- Fadilah, R, 2016. *Analisis Stabilitas dan Penurunan Pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Febrijanto, 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.

- Gustina. dkk, 2017. *Kuat Tekan dan Perubahan Berat Beton OPC dan OPC POFA dengan Menggunakan Air Gambut Sebagai Air Pencampur Di Lahan Gambut*, Universitas Riau Pekanbaru.
- Hardiyatmo, H.C, 2010. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan Edisi Pertama*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Handayani, 2007. *Timbunan Badan Jalan Dengan Bahan Timbunan Ringan*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum.
- Helmi. Ahmad. 2017, *Bahan Perkerasan Jalan*. Buku Ajar Program Pascasarjana Universitas Riau
- 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, 2012. *Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar Busa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Kemen.PU, 2011. *Konsensus R0 Pedoman Perencanaan Timbunan Jalan dengan Menggunakan Material Ringan Beton Busa*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kemen. PUPERA, 2012. *Pedoman Perancangan campuran material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kemen. PUPERA, 2015. *Pedoman Perancangan campuran material Ringan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kimpraswil. 2002b. PtT-10-2002-B. *Panduan Geoteknik 4:Desain dan Konstruksi*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Kimpraswil).
- Muda, A, 2017. *Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Distabilisasi Pasir Dan Semen Untuk Perkerasan Jalan Raya*, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional II, Direktorat Jenderal Bina Marga, Medan.
- Murdock, L.J., and Brook, K, M, (alih bahasa : Stephanus Handoko). 1991. *Bahan dan Praktek Beton*,. Erlangga, Jakarta.

- Mulyono Tri. 2003, *Teknologi Beton*. Penerbit Andi Offset, Jakarta.
- Nur Cahyo, S.A . 2016, *Tugas Akhir :Pengaruh Penambahan Foam Agent terhadap Pembuatan Beton Busa, Tinjauan terhadap Densitas, Konduktivitas termal dan Sound Absorbtion*). Universitas Muhammadiyah Malang.
- Perwitasari , D. S., 2005. *Fly ash Batubara sebagai Bahan Substitusi untuk Ordinary Portland Cement (OPC) dengan Portland Pozzolan Cement (PPC)*. Seminar Nasional Teknik Kimia Soebar D10 Brotohardjono, Surabaya
- Prasetyo, L., 2003. *Agregat Kasar Dari Lempung Pasir Terhadap Kekuatan Beton*.
- Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, 2016, *Pedoman Penulisan Tesis,Program Magister Teknik Sipil, Edisi Maret 2016*, Universitas Islam Riau Pekanbaru.
- Pekerjaan Umum, 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- SNI 03-3438-1994. *Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah Dengan Semen Portland Untuk Jalan*. Badan Standar Nasional Republik Indonesia.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Sudarsono, D.U., 1987, *Rencana Campuran (Mix Design)*. Bandung: Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Bandung: Nova
- Tjokrodimuljo, K. 1992, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Wang, Chu-Kia dan Salmon, G, Charles.,1986. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Wiyono, Sugeng. 2017, *Bahan Perkerasan Jalan*. Buku Ajar Program Pascasarjana Universitas Riau



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau