

**STUDI EKSPERIMENTAL TEGANGAN DAN REGANGAN
PERKERASAN SEMI LENTUR (*SEMI FLEXIBLE PAVEMENT*) AKIBAT
PEMBEBANAN DINAMIS**

(Skripsi)

Oleh

I GUSTI PUTU INDRA YOGA PRATAMA

1715011046



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

STUDI EKSPERIMENTAL TEGANGAN DAN REGANGAN PERKERASAN SEMI LENTUR (*SEMI FLEXIBLE PAVEMENT*) AKIBAT PEMBEBANAN DINAMIS

Oleh

I GUSTI PUTU INDRA YOGA PRATAMA

Perkerasan semi lentur adalah perkerasan yang memiliki gradasi terbuka dan sedikit sekali mengandung agregat halus. Oleh sebab itu perkerasan semi lentur memiliki pori-pori udara antara 15% - 28%. Pori-pori udara ini kemudian diisi pasta semen. Dengan demikian perkerasan ini mengkombinasikan kekuatan semen (sebagai perkerasan kaku) dan aspal (sebagai perkerasan lentur), sehingga kekuatan inilah yang membedakan dengan perkerasan konvensional lainnya. Stabilitas perkerasan semi lentur diharapkan akan bertambah besar dengan adanya penggabungan dua kekuatan tersebut (Sundahl dan Hede, 2002). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembebanan dinamis serta pola regangan pada campuran semi fleksibel dan AC-WC. Pada penelitian ini data hasil regangan yang diperoleh untuk benda uji Semi Fleksibel nilai rata-rata regangan untuk masing-masing pembebanan, untuk 0,7 MPa sebesar 82,5 $\mu\epsilon$, 0,6 MPa sebesar 64,8 $\mu\epsilon$, 0,5 MPa sebesar 43,7 $\mu\epsilon$ dan untuk benda uji AC-WC nilai rata-rata regangan untuk masing-masing pembebanan, untuk 0,7 MPa sebesar 161 $\mu\epsilon$, 0,6 MPa sebesar 122,3 $\mu\epsilon$, 0,5 MPa sebesar 54,7 $\mu\epsilon$. Berdasarkan hasil analisis regangan yang terjadi pada benda uji Semi Fleksibel dan AC-WC terjadi perbandingan yang cukup signifikan untuk rata-rata nilai regangan pada masing-masing pembebanan, untuk 0,7 MPa sebesar 52%, 0,6 MPa sebesar 49%, 0,5 MPa sebesar 84%. Sehingga jika dilihat pada pembebanan 0,5 MPa kedua benda uji masih belum mengalami perbedaan signifikan pada nilai regangan.

Kata kunci : Regangan, Tegangan, Perkerasan Semi Fleksibel, Pembebanan Dinamis

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF STRESS AND STRAIN ON SEMI FLEXIBLE PAVEMENT DUE TO DYNAMIC LOADING

By

I GUSTI PUTU INDRA YOGA PRATAMA

Semi-flexible pavement is a pavement that has an open gradation and contains very little fine aggregate. Therefore semi flexible pavement has air pores between 15% - 28%. These air pores are then filled with cement paste. Thus this pavement combines the strength of cement (as a rigid pavement) and asphalt (as a flexible pavement), so that this strength is what distinguishes it from other conventional pavements. The stability of the semi-flexible pavement is expected to increase with the combination of these two forces (Sundahl and Hede, 2002). This study aims to determine the effect of dynamic loading and strain patterns on semi-flexible and AC-WC mixtures. In this study the strain yield data obtained for the Semi Flexible test object the average strain value for each loading, for 0.7 MPa was 82.5 $\mu\epsilon$, 0.6 MPa was 64.8 $\mu\epsilon$, 0.5 MPa was 43.7 $\mu\epsilon$ and for the AC-WC test object the average strain value for each load, for 0.7 MPa is 161 $\mu\epsilon$, 0.6 MPa is 122.3 $\mu\epsilon$, 0.5 MPa is 54.7 $\mu\epsilon$. Based on the results of the strain analysis that occurred on the Semi Flexible and AC-WC test specimens, there was a significant comparison for the average strain value at each loading, for 0.7 MPa was 52%, 0.6 MPa was 49%, 0.5 MPa by 84%. So that when viewed at a loading of 0.5 MPa the two test objects still do not experience a significant difference in the strain value.

Keywords : Strain, Stress, Semi Flexible Pavement, Dynamic Loading

**STUDI EKSPERIMENTAL TEGANGAN DAN REGANGAN
PERKERASAN SEMI LENTUR (*SEMI FLEXIBLE PAVEMENT*) AKIBAT
PEMBEBANAN DINAMIS**

Oleh

I GUSTI PUTU INDRA YOGA PRATAMA

1715011046

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

Judul Skripsi : **STUDI EKSPERIMENTAL TEGANGAN DAN REGANGAN PERKERASAN SEMI LENTUR (SEMI FLEXIBLE PAVEMENT) AKIBAT PEMBEBANAN DINAMIS**

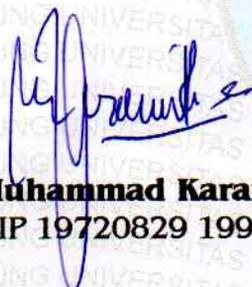
Nama Mahasiswa : **I Gusti Putu Indra Yoga Pratama**

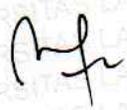
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011046

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

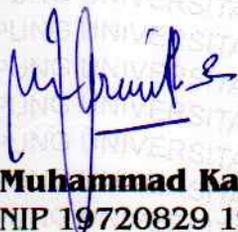


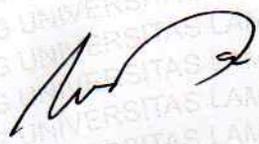

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Dr. Eng. Mohd Isnaeni, S.T., M.T.
NIP 19721026 200003 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**



Sekretaris

: **Dr. Eng. Mohd Isaeni, S.T., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ↵

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **4 November 2022**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **I Gusti Putu Indra Yoga Pratama**

NPM : 1715011046

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Studi Eksperimental Tegangan dan Regangan Perkerasan Semi Lentur (*Semi Flexible Pavement*) Akibat Pembebanan Dinamis

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, 16 Desember 2022

Pembuat Pernyataan,



I Gusti Putu Indra Yoga Pratama

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 23 Juni 1999.

Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Gusti Komang Danuarya, S.T. dan Ibu Ni Wayan Nareswari S.Pd.

Jenjang pendidikan yang ditempuh oleh penulis yaitu pendidikan dasar di SD Negeri 02 Rama Gunawan, pendidikan menengah tingkat pertama di SMP Negeri 01 Seputih Surabaya, dan pendidikan menengah tingkat atas di SMA Negeri 01 Seputih Surabaya.

Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur seleksi SBMPTN. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Studi Eksperimental Tegangan dan Regangan Perkerasan Semi Lentur (Semi Flexible Pavement) Akibat Pembebanan Dinamis. Selama menjalani perkuliahan, penulis pernah menjadi anggota dari Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Departemen Keolahragaan dan Kerohanian (periode 2018/2019) dan anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan (periode 2019/2020). Pada tahun akademik 2020/2021 penulis menjadi asisten laboratorium mata kuliah Mekanika Fluida dan Hidrolika. Pada tahun akademik 2021/2022 penulis menjadi asisten laboratorium mata kuliah Mekanika Tanah II. Penulis telah melakukan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kecamatan Way Halim selama 3 bulan dan mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Subang Jaya,

Kecamatan Bandar Surabaya, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode 1 tahun 2021.

Persembahkan

Puji syukur hamba panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan kepada hamba dalam menyelesaikan tugas akhir.

Kedua orang tua dan adik-adikku yang selalu memberi dukungan dan yang selalu memberikan doa serta mendukungku dalam meraih kesuksesan

Rekan dan sahabat-sahabat yang selalu menemani dalam suka maupun duka serta selalu memberikan dukungan agar skripsi ini berjalan dengan baik.

Rekan seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2017.

MOTTO

“Tetapi orang yang selalu menyembah-Ku dengan bhakti tanpa tujuan yang lain dan bersemadi pada bentuk rohani-Ku—Aku bawakan apa yang dibutuhkannya, dan Aku memelihara apa yang dimilikinya.”

(Bhagawad Gita Bab 9.sloka 22)

“Anda mungkin bisa menunda, tapi waktu tidak akan menunggu.”

(Benjamin Franklin)

“Kamu tidak perlu menjadi luar biasa untuk memulai, tapi kamu harus memulai untuk menjadi luar biasa.”

(Zeg Zigler)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kepadat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI EKSPERIMENTAL TEGANGAN DAN REGANGAN PERKERASAN SEMI FLEKSIBEL (*SEMI FLEXIBLE PAVEMENT*) AKIBAT PEMBEBANAN DINAMIS”. Pada penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil sekaligus dosen pembimbing I, atas pemberian judul serta kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran serta bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Mohd Isnaeni, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil. selaku dosen penguji atas kesempatannya untuk menguji sekaligus memberi bimbingan kepada penulis dalam Seminar Skripsi.
6. Bapak Dr. Eng. Mohd Isnaeni, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu dan wawasan yang telah diberikan selama perkuliahan.
8. Mama, alm papa, dan adik-adikku atas dukungan materil, spiritual, dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Regina TTS, Theo, dan Sugeng yang selalu menemani, memberikan semangat, dan dukungan tidak hanya dalam proses penyelesaian skripsi ini, tapi juga selama masa perkuliahan di Teknik Sipil Universitas Lampung
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang selalu memberikan dukungan dan semangat, serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat Penulis harapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 16 Desember 2022

Penulis

I Gusti Putu Indra Yoga Pratama

DAFTAR ISI

Halaman

COVER	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Perkerasan Semi Lentur	7
2.1.1. Open Graded Asphalt (OGA)	10
2.1.2. Material Penyusun Perkerasan Semi Lentur	12
2.2. Tegangan dan Regangan.....	20

2.2.1. Tegangan.....	20
2.2.2. Regangan	21
2.2.3. Tegangan dan Regangan pada Perkerasan.....	22
2.2.4. Hubungan Tegangan dan Regangan Akibat Beban Berulang ...	22
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2. Persiapan dan Pengujian Material	26
3.2.1. Agregat	26
1. Alat Uji Agregat	26
2. Pengujian Agregat	26
3.2.2. Aspal.....	28
3.2.3. Filler.....	28
3.2.4. Semen	28
3.3. Desain Campuran Beraspal.....	29
3.3.1. Desain Campuran Beraspal Benda Uji Semi Fleksibel	29
1. Gradasi Agregat	30
3.3.2. Desain Campuran Beraspal Benda Uji WC-WC	31
1. Gradasi Agregat	31
3.4. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Dinamis.....	33
3.4.1. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Semi Fleksibel	33
1. Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> (AFD).....	34
2. Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	36
3. Pengujian VIM.....	38
4. Pengujian Kuat Tekan Mortar dari rasio FAS	40

3.4.2. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji AC-WC	43
1. Pengujian <i>Marshall</i>	45
2. Bulk Density dan Kandungan Rongga Campuran.....	46
3. Stabilitas dan Flow	46
3.5. Menentukan Kadar Aspal Optimum.....	47
3.5.1 Kadar Aspal Optimum Benda Uji Semi Fleksibel	47
3.5.2 Kadar Aspal Optimum Benda Uji AC-WC	49
3.6. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Dinamis.....	51
3.6.1. Pembuatan benda uji dinamis	51
3.6.2. Pengujian dinamis.....	55
3.7. Proses Analisis	57
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1. Pengaruh beban terhadap regangan pada campuran beraspal.....	58
4.2. Perbandingan Regangan Semi Fleksibel dan AC-WC	69
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Hubungan Tegangan Regangan akibat beban berulang	23
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 3.2. Grafik gradasi agregat semi fleksibel.....	31
Gambar 3.3. Gradasi agregat AC-WC	32
Gambar 3.4. Memasukkan slurry semen ke dalam cetakan kubus.....	40
Gambar 3.5. Proses curing slurry semen selama 7 hari	40
Gambar 3.6. Pengujian benda uji dengan CTM.....	41
Gambar 3.7. Tahapan pembuatan benda uji Marshall.....	44
Gambar 3.8. Alat uji Marshall.....	45
Gambar 3.9. Grafik hubungan VIM & Cantabro Loss.....	48
Gambar 3.10. Penentuan kadar Aspal Optimum semi fleksibel	49
Gambar 3.11. Menentukan kadar Aspal Optimum AC-WC	51
Gambar 3.12. Roller Compactor Machine	52
Gambar 3.13. Strain Gauge	53

Gambar 3.14. Indicator Strain P-3500	53
Gambar 3.15. Menghubungkan kabel strain gauge ke Indicator Strain.....	55
Gambar 3.16. Manual pemasangan strain gauge ke Indicator Strain P-3500	56
Gambar 3.17. Benda uji saat akan dilakukan pengujian dinamis	56
Gambar 4.1. Ilustrasi 1 periode gelombang pada saat pengujian dinamis.	58
Gambar 4.2. Panjang gelombang untuk pembebanan 0,7 MPa pada semi fleksibel.....	59
Gambar 4.3. Panjang gelombang untuk pembebanan 0,6 MPa pada semi fleksibel.....	60
Gambar 4.4. Panjang gelombang untuk pembebanan 0,5 MPa pada semi fleksibel.....	61
Gambar 4.5. Perbandingan regangan terhadap pembebanan pada semi fleksibel.....	62
Gambar 4.6. Pengaruh perbedaan pembebanan terhadap nilai regangan sampel semi fleksibel	63
Gambar 4.7. Panjang gelombang untuk pembebanan 0,7 MPa pada AC-WC	64
Gambar 4.8. Panjang gelombang untuk pembebanan 0,6 MPa pada AC-WC	65
Gambar 4.9. Panjang gelombang untuk pembebanan 0,5 MPa pada AC-WC	66
Gambar 4.10. Perbandingan regangan terhadap pembebanan pada AC-WC	67
Gambar 4.11. Pengaruh perbedaan pembebanan terhadap nilai regangan sampel AC-WC.....	68
Gambar 4.12. Repetisi periode saat pengujian dinamis pada pembebanan 0,5, 0,6, 0,7 MPa.....	69
Gambar 4.13. Perbandingan Regangan Pada Pembebanan 0,7 MPa	71
Gambar 4.14. Perbandingan Regangan Pada Pembebanan 0,6 MPa	72
Gambar 4.15. Perbandingan Regangan Pada Pembebanan 0,5 MPa	73

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Gradasi Open Graded Asphalt	11
Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar	13
Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus	14
Tabel 2.4. Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras	15
Tabel 2.5. Ketentuan Filler	17
Tabel 2.6. Syarat Fisika Semen	19
Tabel 2.7. Ketentuan Air	20
Tabel 3.1. Standar Pengujian Agregat	27
Tabel 3.2. Hasil Pengujian Agregat Alami	27
Tabel 3.3. Standar Pengujian Aspal	28
Tabel 3.4. Syarat Fisika Semen	29
Tabel 3.5. Gradasi Agregat Semi Fleksibel	30
Tabel 3.6. Gradasi Agregat Persaringan AC-WC	32
Tabel 3.7. Pembuatan Benda Uji Semi Fleksibel	33
Tabel 3.8. Hasil Pengujian Asphalt Flow Down	36
Tabel 3.9. Hasil Pengujian Cantabro Loss	37
Tabel 3.10. Lanjutan Hasil Pengujian Cantabro Loss	38
Tabel 3.11. Hasil pengujian VIM (Void in Mix)	39
Tabel 3.12. Lanjutan Hasil Pengujian VIM (Void in Mix)	39

Tabel 3.13. Kuat Tekan Rencana Untuk FAS 0,45	41
Tabel 3.14. Kuat Tekan Rencana Untuk FAS 0,5	42
Tabel 3.15. Kuat Tekan Rencana Untuk FAS 0,55	42
Tabel 3.16. Pembuatan Benda Uji <i>Marshall</i>	43
Tabel 3.17. Bulk Density dan Kandungan Rongga Campuran	46
Tabel 3.18. Hasil Uji Stabilitas dan <i>Flow</i>	47
Tabel 3.19. Spesifikasi Penentuan KAO Metode AAPA	48
Tabel 3.20. Parameter Desain Untuk Campuran Aspal Bergradasi Padat	50
Tabel 3.21. Karakteristik Marshall untuk Campuran Aspal Bergradasi Padat	50
Tabel 3.22. VIM Rata-rata (Void In Mix)	50
Tabel 4.1. Nilai Rata-Rata Regangan pada masing-masing Pembebanan untuk Benda Uji Semi Fleksibel	62
Tabel 4.2. Nilai Rata-Rata Regangan Pada masing-masing Pembebanan Untuk Benda Uji AC-WC	66
Tabel 4.3. Perbandingan Nilai Regangan saat Pembebanan 0,7 MPa	70
Tabel 4.4. Perbandingan Nilai Regangan saat Pembebanan 0,6 MPa	71
Tabel 4.5. Perbandingan Nilai Regangan saat Pembebanan 0,5 MPa	73
Tabel 4.6. Beban maksimum untuk setiap jenis konfigurasi As Gandar Jenis Konfigurasi As Gandar	74

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan sarana yang memiliki peranan penting bagi kelancaran transportasi darat utama (Prasetyo, 2012). Nilai pelayanan suatu ruas jalan yang baik menjadi sebuah keharusan yang wajib dipenuhi dan hal tersebut tentunya menjadi tolak ukur serta perbandingan berkaitan dengan baik atau tidaknya suatu perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan.

Dalam kenyataannya, kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan menghasilkan sebuah tegangan dan regangan akibat menerima beban kendaraan yang terjadi berulang-ulang. Selanjutnya, hal tersebut menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kerusakan pada jalan yaitu timbulnya retak akibat beban dinamis berulang.

Beban dinamis adalah beban yang intensitasnya berubah-ubah berdasarkan fungsi waktu, sehingga dapat dikatakan besarnya beban merupakan fungsi waktu. Secara sederhana dinamis dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur. Beban dinamis dapat berupa variasi besarnya (*magnitude*), arahnya (*direction*) atau posisinya (*point of application*) berubah terhadap waktu (Taufik, 2011).

Tegangan dan regangan dinamis yang ditimbulkan oleh beban roda kendaraan mempunyai pengaruh yang besar terhadap kerusakan lapisan perkerasan jalan (Riyana, 2017). Untuk mengurangi resiko kerusakan prematur akibat timbulnya tegangan dan regangan yang berlebihan pada lapisan perkerasan aspal, maka dilakukan berbagai upaya salah satu perbaikan sifat fisis aspal sebagai bahan pengikat dan modifikasi campuran. Modifikasi material yang dilakukan guna meningkatkan nilai kekakuan dan kelenturan campuran dengan jenis campuran, gradasi dan modifikasi aspal yang tepat sebagai usaha pengembangan campuran beraspal (Casey, 2008).

Perkembangan teknologi dan inovasi pada lapis perkerasan telah terlihat dengan dikembangkannya suatu jenis perkerasan yang bersifat *semi flexible* atau sering disebut *semi flexible pavement*. *Semi flexible pavement* merupakan suatu jenis perkerasan yang memadukan kedua jenis perkerasan yang biasa digunakan sebelumnya yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Perkerasan semi lentur dibuat dengan memproduksi kerangka berupa *Open Graded Asphalt* (OGA) dengan gradasi sangat terbuka dan mengisinya dengan *grout* semen (*cementitious grout*) yang terseleksi. Hasil dari perpaduan tersebut biasa dinamakan *grouted macadam* yang mengkombinasikan fleksibilitas dari aspal dan kekakuan dari beton. Sehingga *grouted macadam* menggabungkan kualitas baik dari perkerasan beton dan perkerasan aspal, yaitu fleksibilitas dan kebebasan dari sambungan yang merupakan karakteristik aspal dan daya dukung beban

tetap yang tinggi serta tahan keausan yang dimiliki oleh beton (Setyawan, 2004).

Nakanishi (2001) melakukan penelitian dengan menerapkan perkerasan semi lentur di beberapa tempat pada jalan-jalan di lokasi khusus seperti tempat penyeberangan jalan raya, terminal bus, pintu tol, pemberhentian bus dan pelabuhan penyeberangan kapal laut. Perkerasan semi lentur mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan perkerasan konvensional biasa antara lain: lebih tahan terhadap alur; tidak menimbulkan efek yang menyilaukan/menyerap cahaya; lebih nyaman; tahan terhadap kelelahan dan tahan terhadap keausan akibat roda kendaraan atau beban dinamis.

Dalam perilaku tegangan dan regangan tersebut, regangan tarik berpengaruh paling dominan terhadap kinerja perkerasan, sehingga terjadinya retak yang merupakan awal kegagalan lapisan perkerasan. Ketahanan campuran semi fleksibel akibat kegagalan struktur lapisan perkerasan berupa kerusakan kelelahan dapat diperkirakan dengan pengujian dibebani secara berulang (Said *et al.*, 2011).

Oleh karena itu dalam perencanaan struktur perkerasan semi lentur, terdapat aspek lain yang perlu untuk diperhatikan selain kekuatan bahan-bahan penyusunnya. Aspek tersebut ialah perilaku perkerasan dalam menerima beban dinamis yang dapat ditunjukkan dengan tegangan dan regangannya. Sehingga tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari kinerja tegangan dan regangan perkerasan semi fleksibel akibat pembebanan dinamis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan dalam latar belakang di atas, maka dapat ditentukan rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat benda uji *Semi Flexible* dengan komposisi campuran pada kondisi KAO (Kadar Aspal Optimum) untuk aspal dan rasio FAS dengan kuat tekan rencana yang digunakan untuk campuran slurry.
2. Bagaimana reaksi tegangan dan regangan yang dihasilkan oleh benda uji Semi Fleksibel dan ACWC terhadap pembebanan dinamis dengan alat bantu Strain Gauge.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dari masalah-masalah yang telah diuraikan tidak menyimpang jauh, maka masalah dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Benda uji yang digunakan yaitu *Semi Flexible* dengan 3 benda uji berukuran panjang, lebar, dan tinggi 30x30x5 cm menggunakan campuran aspal bergradasi terbuka dengan kadar aspal optimum di grouting dengan slurry dengan kuat tekan rencana.
2. Metode pengujian yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan menggunakan strain gauge pada benda uji semi fleksible untuk mengetahui reaksi tegangan dan regangan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pembebanan dinamis dengan beban sebesar 0,5, 0,6, dan 0,7 MPa terhadap benda uji *Semi Flexible* dan ACWC.
2. Mengetahui pola regangan yang terjadi pada campuran *Semi Flexible* akibat pembebanan dinamis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penyusunan skripsi ini yaitu:

1. Memberikan ilmu pengetahuan dan penambahan wawasan mengenai perkerasan semi fleksible.
2. Mengetahui reaksi tegangan regangan benda uji *Semi Flexible* yang diberikan beban dinamis dengan alat *roller compactor*.
3. Dapat membandingkan ketahanan regangan benda uji Semi Fleksibel dengan ACWC dengan beban dinamis.
4. Sebagai referensi untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan penulis adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan landasan teori dari beberapa literature yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, yaitu studi eksperimental tegangan dan regangan perkerasan semi lentur (semi flexible pavement) akibat pembebanan dinamis.

BAB III : METODE PENELITIAN

Terdiri dari hal-hal yang berhubungan dengan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode-metode, pelaksanaan dan pengujian benda uji.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdiri dari hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Terdiri dari hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan berdasarkan data-data dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian ini

LAMPIRAN

Terdiri dari data dan gambar yang mendukung penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Semi Lentur

Perkerasan semi lentur dikenal dengan nama *grouded macadam* dikembangkan pertama kali di Perancis pada tahun 1960-an oleh perusahaan konstruksi *Jean Lefebvre enterprises* sebagai alternative untuk penghematan biaya dari *Portland Cement Concrete* (Roffe,1989).

Perkerasan semi lentur adalah perkerasan yang memiliki gradasi terbuka dan sedikit sekali mengandung agregat halus. Oleh sebab itu perkerasan semi lentur memiliki pori-pori udara antara 15% - 28%. Pori-pori udara ini kemudian diisi pasta semen. Dengan demikian perkerasan ini mengkombinasikan kekuatan semen (sebagai perkerasan kaku) dan aspal (sebagai perkerasan lentur), sehingga kekuatan inilah yang membedakan dengan perkerasan konvensional lainnya. Stabilitas perkerasan semi lentur diharapkan akan bertambah besar dengan adanya penggabungan dua kekuatan tersebut (Sundahl dan Hede, 2002).

Perkerasan semi lentur dibuat dengan memproduksi kerangka berupa *Open Graded Asphalt* (OGA) dengan gradasi sangat terbuka dan mengisinya dengan *grout* semen (*cementitious grout*) yang terseleksi. Hasil dari perpaduan tersebut biasa dinamakan *grouded macadam*, mengkombinasikan fleksibilitas dari aspal dan kekakuan dari beton.

Sehingga *grouted macadam* menggabungkan kualitas baik dari perkerasan beton dan perkerasan aspal, yaitu fleksibilitas dan kebebasan dari sambungan yang merupakan karakteristik aspal dan daya dukung beban tetap yang tinggi serta tahan keausan yang dimiliki oleh beton (Setyawan, 2004).

Perkerasan semi lentur adalah perkerasan yang memiliki gradasi terbuka dan sedikit sekali mengandung agregat halus. Oleh sebab itu perkerasan semi lentur memiliki pori-pori udara antara 15%-28%. Pori-pori udara ini kemudian diisi pasta semen, Dengan demikian perkerasan ini mengkombinasikan kekuatan semen dan aspal (Jaya, 2012).

Nakanishi (2001) yang melakukan penelitian di Jepang menyatakan bahwa Jepang telah menerapkan perkerasan semi lentur di beberapa tempat pada jalan- jalan di lokasi khusus seperti tempat penyeberangan jalan raya, terminal bus, pintu tol, pemberhentian bus dan pelabuhan penyeberangan kapal laut. Perkerasan semi lentur mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan perkerasan konvensional biasa diantaranya:

- a) lebih tahan terhadap alur;
- b) tidak menimbulkan efek yang menyilaukan/menyerap cahaya;
- c) lebih nyaman;
- d) tahan terhadap kelelahan dan
- e) tahan terhadap keausan akibat roda kendaraan.

Berdasarkan nilai penetrasi atau kekerasan aspal, AASHTO membagi aspal ke dalam lima kelompok jenis aspal, yaitu :

1. AC pen 40/50, yaitu semen aspal dengan penetrasi 40-50.
2. AC pen 60/70, yaitu semen aspal dengan penetrasi 60-70.
3. AC pen 80/100, yaitu semen aspal dengan penetrasi 80-100.
4. AC pen 120/150, yaitu semen aspal dengan penetrasi 120-150.
5. AC pen 200/300, yaitu semen aspal dengan penetrasi 200-300.

Angka kekerasan adalah berapa dalam masuknya jarum penetrasi ke dalam contoh aspal. Semen aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah yang bercuaca panas dan dengan volume lalu lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan di daerah bercuaca dingin atau volume lalu lintas rendah.

Agregat atau batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume. Agregat yang digunakan harus dalam keadaan bersih dari kotoran, bahan-bahan organik, atau bahan-bahan lain yang mengganggu (Hardiyatmo, 2011). Jenis agregat menurut diameter butirannya dibedakan sebagai berikut:

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan no. 8 (diameter 2,36 mm).

2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan no. 8 (diameter 2,36 mm).

Campuran aspal menggunakan gradasi terbuka (*open graded*), sehingga campuran aspal disebut juga *open graded asphalt*. Gradasi terbuka terdiri dari agregat kasar yang banyak dan hanya mengandung sedikit agregat halus, sehingga terdapat banyak rongga/ruang. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil. Keuntungan menggunakan aspal gradasi terbuka adalah:

1. Mengurangi efek akibat genangan-genangan air apabila permukaan aspal terkena hujan.
2. Mengurangi efek percikan dan semprot (*splash and spray*) ketika kendaraan melewati permukaan aspal.
3. Mengurangi efek silau.
4. Meningkatkan keselamatan berkendara di jalan sehingga meminimalisir intensitas kecelakaan yang tinggi.
5. Pengurangan kebisingan.
6. Memperkecil masalah dengan es pada saat musim hujan.

2.1.1 Open Graded Asphalt (OGA)

Gradasi terbuka (*open graded*) adalah gradasi yang ukuran butirannya hampir sama/seragam, (Krebs dan Walker, 1971). *Open Graded Asphalt (OGA)* terdiri dari campuran *hot mix asphalt (HMA)* yang dirancang

mempunyai rongga udara (*air voids*) yang besar (25%-30%). Gradasi terbuka dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut.

Tabel 2.1. Gradasi Open Graded Asphalt

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos
ASTM	(mm)	(mm)
3/4"	20,0	20,0
1/2"	12,5	12,5
3/8"	9,5	9,5
#4	4,75	4,75
#10	2,0	2,0
#200	0,075	0,075

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus (*SNI 03-6825-2002*).

Portland cement adalah suatu semen hidrolis yang diproduksi dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium bersifat hidrolis, biasanya juga berisi satu atau lebih kalsium sulfat sebagai satu penambahan *interground*, (AASHTO, 1986).

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat, dan mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. air yang digunakan dalam pembuatan campuran mortar

tidak ada pembatasan khusus, semua air dapat digunakan. Namun ada ketentuan, air yang digunakan harus terbebas dari unsur-unsur alkali, minyak, zat organik yang akan merusak beton.

2.1.2 Material Penyusun Perkerasan Semi Lentur

Material yang akan digunakan dalam pekerasan semi lentur jalan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal, dan dapat ditambahkan bahan tambah lainnya sesuai dengan jenis campuran aspal yang digunakan. Berikut adalah penjabaran tentang material penyusun perkerasan jalan semi lentur.

A. Agregat

ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun fragmen-fragmen agregat/batuan merupakan unsur komponen utama dari lapisan pekerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan presentase berat atau 75%-85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman, 1993). Berdasarkan besar partikel-partikel agregat, agregat dapat dibedakan atas sebagai berikut.

1. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan ayakan no.8 (diameter 2,36 mm).
2. Agregat halus, yaitu agregat yang harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan no.8 (2,36 mm) dan tertahansaringan no.200 (diameter 0,0075 mm)

3. Bahan pengisi (*filler*), yaitu bahan pengisi yang lolos ayakan no.200 (0,075 mm), dan tidak kurang dari 95% terhadap beratnya.

Berdasarkan ketentuan Binamarga 2010 dapat dilihat pada Tabel ketentuan untuk agregat kasar dan agregat halus. Berikut ini adalah ketentuan agregat kasar dan agregat halus pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 dibawah.

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar

No	Pengujian	Standar	Nilai	
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	Maks.12%	
		Magnesium sulfat	Maks.18%	
2	Campuran AC	100 putaran	Maks. 6%	
	Abrasi dengan mesin Los Angles	Modifikasi Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	500 putaran 100 putaran 500 putaran	Maks. 30% Maks. 8% Maks.40%
3	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95%	
4	Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619:2012	95/90 *)	
5	Butir pecah pada agregat kasar	ASTM D4179 Perbandingan 1:5	Maks. 10%	
6	Material lolos ayakan No.200	SNI 09-4142-1996	Maks. 2%	

Catatan :

*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih

Sumber : Bina Marga (2010)

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus

No	Pengujian	Standar	Nilai
1	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
2	Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min.45%
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
4	Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM C11 : 2012	Maks. 10%

Sumber : Bina Marga (2010)

B. Gradasi Agregat

Sukirman (1993) menyatakan gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting untuk menentukan stabilitas pekerasan/ gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga diantara butiryang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

C. Aspal

Aspal merupakan material untuk perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam, dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Bitumen atau dapat disebut juga hidrokarbon merupakan bahan dasar utama dari aspal. Aspal jugamerupakan material *Thermoplastic* yang dapat berubah akibat perubahan temperatur, akan cair jika dipanaskan dan mengeras pada suhu rendah. Bahan campuran aspal biasanya disebut aspal semen bersifat kedap air, dengan kekentalan tinggi, bahan perekat yang melekat dengan mudah pada butiran agregat. Menurut Sukirman (1993) berdasarkan cara diperolehnya aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal buatan. Aspal alam

yang dibedakan atas aspal gunung (*rock asphalt*) dan aspal danau (*lake asphalt*) seperti aspal dari bermuda trinidad. Aspal buatan yang terdiri dari aspal minyak yang merupakan hasil penyulingan minyak bumi dan tar yang merupakan hasil penyulingan batu bara.

Aspal keras/*cement (AC)* atau biasanya disebut aspal padat terdiri dari beberapa jenis aspal semen tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada suhu 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100. Ketentuan-ketentuan untuk aspal keras dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4. Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Penetrasi 60/70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48
5	Daktilitas Pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232
7	Kelarutan Dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥99
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1,0

Sumber : Kementerian PU Direktorat Jendal Bina Marga (2010) Revisi 1

Pada campuran *Split Matic Asphalt*, kadar aspal yang digunakan jumlahnya relatif tinggi. Kadar aspal yang tinggi tersebut dan dengan gradasi terbuka yang ada akan memberikan sifat-sifat sebagai berikut.

1. Menghasilkan lapisan film aspal yang tebal, sehingga tahan terhadap proses oksidasi, tahan terhadap proses pelapukan oleh sinar matahari dan mempunyai kelekatan yang lebih baik diantara agregat. Hal ini menyebabkan umur (*life time*) dari lapis permukaan bertambah.
2. Tidak peka terhadap perubahan kadar aspal pada campuran.
3. Menghasilkan kelekatan yang lebih baik dengan lapisan di bawahnya.
4. Lebih fleksibel dalam mengatasi perubahan bentuk yang terjadi akibat beban lalu lintas.

D. *Filler*

Filler atau disebut juga bahan pengisi merupakan material berbutir halus yang lolos saringan no.200 (0,0075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam, semen *Portland*, atau bahan non-plastis lainnya. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air. Adapun ketentuan *filler* pada campuran aspal menurut Bina Marga 2010 revisi 1 adalah sebagai berikut ini.

1. Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust*), kapur padam (*hydrated lime*), semen atau abu terbang yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (*75 micron*) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya.
3. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat.

Ketentuan *filler* dapat dilihat pada Tabel 2.5. dibawah ini.

Tabel 2.5. Ketentuan Filler

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan no.200	SNI 03-6723-2002	Min 75%

Sumber : Kementrian PU Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

Dalam campuran beton aspal, *filler* memiliki peran tersendiri yakni untuk mendapatkan beton aspal yang memenuhi ketentuannya. Penggunaan *filler* dalam beton aspal akan mempegaruhi karateristik beton aspal tersebut. Berikut ini adalah beberapa fungsi dari bahan pengisi (*filler*).

1. Sebagai pengisi antara partikel agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udaramenjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan geser serta penguncian antar butiran yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
2. Jika ditambahkan ke dalam aspal, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan aspal mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, aspal menjadi lebih kental, dan campuran agregat aspal menjadi bertambah kekuatannya.
3. Salah satu *filler* yang sering digunakan pada campuran beraspal yakni *filler* debu batu. Penelitian tentang debu batu telah banyak dilakukan, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Tahami dkk (2018) dengan melakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)* yang diterapkan untuk memeriksa bentuk dan tekstur permukaan pengisi sehingga dapat diketahui morfologi mikroskopis dari partikel pengisi debu batu.

E. Semen

Secara pengertian umum semen adalah material yang dapat menyatukan material lain menjadi padat. Di bidang teknik konstruksi, semen adalah bahan hidrolis apabila dicampur dengan air dengan jumlah tertentu dapat menjadi perekat material lain. Semen portland adalah material semen yang dibuat dengan cara menghaluskan klinker dan gipsum. Klinker adalah campuran material dengan komposisi CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan SiO_2 . Kecepatan proses pengeringan material dipengaruhi oleh komposisi campuran dari semen itu sendiri. Semen portland telah digunakan sebagai bahan utama konstruksi beton baik secara umum maupun pada konstruksi yang khusus (Miftahussalam, 2008).

Menurut SNI 15-2049-2004, Semen portland komposit merupakan hasil pencampuran bahan pengikat hidrolis dengan semen portland dan gips, atau campuran antara sement Portland dengan bahan anorganik bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit. Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pemasangan bata, selokan, jalan. dan fisika dapat dilihat pada Tabel 2.6 di bawah ini.

Tabel 2.6. Syarat Fisika Semen

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan utoclave		
-	pemuaian	%	maks. 0,80
-	penyusutan	%	maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat		
-	pengikatan awal	menit	min. 45
-	pengikatan akhir	menit	maks. 375
4	Kuat tekan		
-	umur 3 hari	kg/cm ²	min. 125
-	umur 7 hari	kg/cm ²	min. 200
-	umur 28 hari	kg/cm ²	min. 250
5	Pengikatan semu		
-	penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

Sumber : SNI 15-7064-2004.

Klasifikasi semen menurut SNI 03-6861.1-2002 dapat disebutkan sebagai berikut: (i) Tipe 1, penggunaan untuk konstruksi pada umumnya. Konstruksi tidak menuntut persyaratan khusus dalam penggunaan semen sebagai bahan ikat beton; (ii) Tipe 2, penggunaan untuk konstruksi pada umumnya. Tuntutan persyaratan konstruksi adalah penggunaan semen untuk konstruksi yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang; (iii) Tipe 3, penggunaan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi; (iv) Tipe 4, penggunaan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi rendah; (v) Tipe 5, penggunaan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

F. Air

Konstruksi daur ulang perkerasan jalan yang distabilisasi dengan semen menggunakan air sebagai perekat agregat sehingga mempunyai kekuatan tertentu. Air yang digunakan dalam mencampur, merawat material lapis

perkerasan daur ulang harus bebas dari minyak, sulfat dan klorida atau bahan lain yang menyebabkan kegagalan konstruksi (Departemen PU, 2005). Untuk klasifikasi air yang baik digunakan dalam konstruksi seperti terlampir dalam Tabel dibawah berikut.

Tabel 2.7. Ketentuan Air

No.	Macam pengujian	Persyaratan	Cara pengujian
1	pH	4,5 - 8,5	SNI 06-2423-1991
2	Bahan organik	Maksimum 2000 ppm	SNI 03-6817-2002
3	Minyak mineral	< 2% berat semen	SNI M68-1990-03
4	Kadar sulfat	< 10000 ppm	SNI 06-2426-1991
5	Kadar klorida	< 20000 ppm	SNI 06-2431-1991

Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Td T-08-2005-B (Departemen PU, 2005)

2.2 Tegangan dan Regangan

2.2.1 Tegangan

Tegangan adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja (Iremonger, 1990). Terdapat dua macam gaya yang bekerja pada benda untuk menghasilkan tegangan:

1. Gaya Permukaan (*surface forces*) yang mana gaya bekerja pada suatu permukaan dari benda. Contoh : gaya kontak antara roda gigi, antara ball bearing, pelat yang di rol, dll.
2. Gaya Benda (*body forces*) yang mana disebut demikian karena gaya ini bekerja pada setiap elemen dari benda tersebut. Contoh : gaya sentrifugal.

Pengandaian bahwa tegangan adalah terbagi rata sering dilakukan dalam perencanaan (E.Shigley.1986). Hasilnya sering disebut tegangan tarik murni (*pure tension*), tegangan tekan murni (*pure compression*) atau tegangan geser murni (*pure shear*), tergantung pada cara kerja beban atas benda yang sedang diamati. Tegangan, σ , dikatakan terbagi rata, maka harganya dapat dihitung dari persamaan 1.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

σ = besar tegangan (MPa)

F = gaya yang bekerja pada benda (N)

A = luas penampang (mm)

2.2.2 Regangan

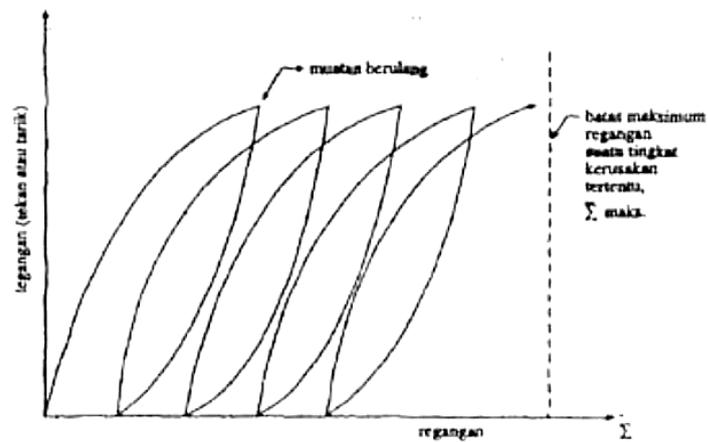
Regangan adalah suatu perubahan bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan adanya deformasi (Iremonger, 1990). Bila beban diberikan pada suatu benda atau struktur maka akan terjadi tegangan dalam benda/komponen sehingga terjadi perubahan bentuk atau dimensi. Perubahan bentuk pada benda inilah yang disebut regangan (*strain*). Besar dari regangan disebut *strain intensity*. Seperti halnya tegangan regangan juga memiliki unsur-unsur tertentu. Di antara setiap perpindahan dari titik dalam material memiliki hubungan yang tetap. Untuk mengetahuinya adalah hal yang mudah dengan mengamati regangan dalam dua dimensi.

2.2.3 Tegangan dan Regangan pada Perkerasan

Konsep penyaluran beban pada perkerasan yaitu beban menyebar ke bawah sejauh ketebalan perkerasan dimana pengaruh beban akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya kedalaman. Tegangan dan regangan yang diterima oleh perkerasan akibat beban mengalami pengurangan dan pada akhirnya nilai tegangan dan regangan yang terjadi dapat diabaikan. Tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan diperoleh dengan penempatan alat uji pada lapisan perkerasan. Dalam perencanaan atau evaluasi, lokasi pengujian yang ditinjau berada pada permukaan aspal, bawah aspal, lapisan pondasi, dan permukaan tanah dasar. Lokasi tersebut akan dijadikan dasar dalam perencanaan atau evaluasi kinerja perkerasan. Perilaku perkerasan saat menerima beban yaitu pada bagian bawah lapisan permukaan terjadi regangan tarik, bagian bawah lapisan pondasi terjadi tegangan tarik, dan pada tanah dasar terjadi tegangan dan regangan tekan.

2.2.4 Hubungan Tegangan dan Regangan Akibat Beban Berulang

Hubungan tegangan dan regangan yang terjadi akibat beban roda berulang diilustrasikan pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Hubungan tegangan regangan akibat beban berulang

Hubungan tersebut memang tidak sesuai dengan hukum Hooke dimana tegangan berbanding lurus dengan regangan, hal ini dikarenakan perkerasan fleksibel adalah viskoelastisitas, artinya suatu aplikasi tegangan akan menimbulkan regangan senilai tertentu. Masing-masing lapis perkerasan memiliki batas regangan maksimum (ϵ_{max}) sendiri-sendiri dimana bila batas tersebut tercapai akan nampak kerusakan tertentu yang nyata.

a. Regangan maksimum tergantung dari:

1. Mutu bahan yang tergantung pada jenis material, kualitas pekerjaan, suhu serta iklim
2. Ketentuan mengenai kondisi perkerasan yang disyaratkan (*serviceability index*). Makin rendah nilai kondisinya (*I_{pt}*) maka makin besar tingkat kerusakan yang terjadi.

b. Tegangan (tarik maupun tekan) tergantung dari:

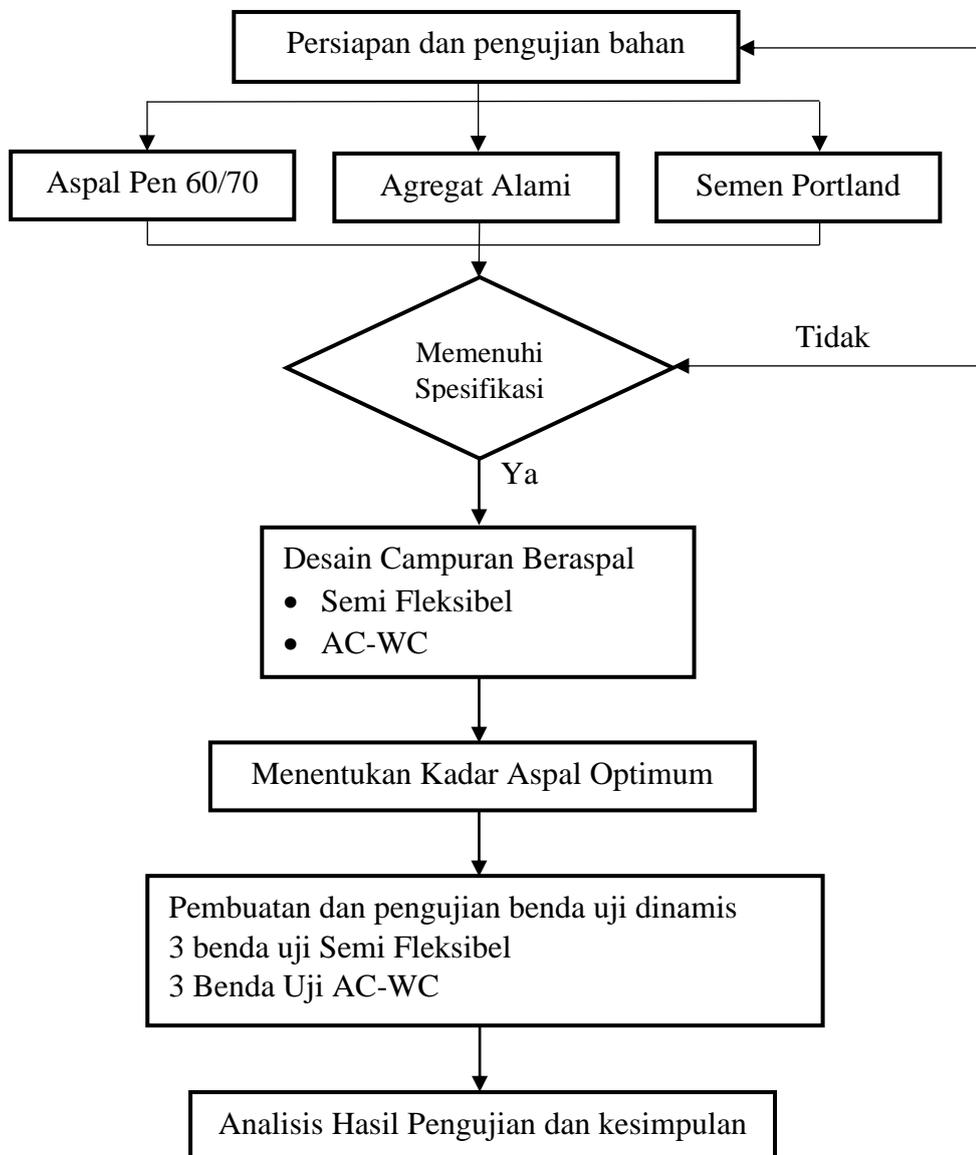
1. Beban dan konfigurasi roda
2. Tebal masing-masing lapisan
3. Kulit bahan

Pada umumnya lapisan yang lebih atas terbuat dari material yang lebih baik sehingga mampu menerima tegangan yang lebih besar. Lapis permukaan (pada perkerasan semi lentur) merupakan suatu lapisan yang terikat (*bounded*) oleh aspal sehingga mampu menahan tekan maupun tarik. Umumnya tegangan tekan (*compression*) dapat ditahan lebih besar dari tegangan tariknya (*tension*) sehingga tegangan tarik lebih menentukan umur ketahanan terhadap beban berulang. Pada struktur perkerasan, setiap lapisan memiliki ketebalan tertentu, kecuali tanah dasar yang tebalnya dianggap tak terhingga. Sedangkan, lebar setiap lapisan perkerasan juga dianggap tak terbatas. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan adalah isotropik, yakni sifat bahan di setiap titik tertentu dalam setiap arah. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan dianggap homogen. Contohnya sifat di titik A_i sama dengan sifat-sifat bahan di titik B_i . Lapisan linear elastis, linear maksudnya hubungan antara regangan dan tegangan dianggap linear, dan elastis maksudnya apabila tegangan yang diberikan kemudian dihilangkan, regangan dapat kembali ke bentuknya semula. Sifat-sifat bahan diwakili oleh dua parameter struktural, yaitu modulus resilient (E atau MR) dan konstanta Poisson (μ).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir yang terlihat pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2 Persiapan dan Pengujian Material

Persiapan bahan merupakan tahap pertama dalam pelaksanaan penelitian.

Pada tahap ini menggunakan material antara lain:

3.2.1 Agregat

Agregat menggunakan bahan yang diperoleh dari kerikil atau batu pecah berasal dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan diameter 19 mm dan tertahan saringan diameter 2,36 mm. Agregat halus yang digunakan yaitu agregat yang lolos dari saringan no. 8 diameter 2,36 mm.

1. Alat Uji Agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain : mesin Los Angeles (tes abrasi), alat uji *ACV* dan *AIV*, timbangan, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat Oven (pemanas atau pengering),.

2. Pengujian Agregat

Pengujian agregat meliputi pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Standar dan hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1. Standar Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu) dan penyerapan agregat	SNI 03-1970-1990
3	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu) dan penyerapan agregat kasar.	SNI 03-1969-1990
4	<i>Los Angeles Test</i>	SNI 03-2417:2008
5	<i>Aggregate Crushing Value</i>	BS 812:part 3 : 1975
6	<i>Aggregate Impact Value</i>	BS 812:part 3 : 1975

Tabel 3.2. Hasil Pengujian Agregat Alami

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
A	Agregat Kasar		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5$ gr/cm ³	2,54
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5$ gr/cm ³	2,59
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5$ gr/cm ³	2,68
4	Penyerapan	<3%	1,96
B	Agregat Halus		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5$ gr/cm ³	2,56
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5$ gr/cm ³	2,6
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5$ gr/cm ³	2,67
4	Penyerapan	<3%	1,64
C	<i>Los Angeles Abrasion</i>	Maks 30%	15,8%
D	<i>Agg. Crushing Value</i>	Maks 1%	0,91%
E	<i>Aggregate Impact Value</i>	Maks 40%	6,01%

3.2.2 Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang telah memenuhi standar pengujian aspal. Standard pengujian dan data hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah.

Tabel 3.3. Standar Pengujian Aspal.

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Spesifikasi	Hasil
1	Penetrasi	0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-70	65,17
2	Berat Jenis Titik	gr/cm ³	SNI 06-2441-1991	≥ 1	1,015
3	Lembek	°C	SNI 06-2434-1991	≥ 48	52
4	Daktalitas	Cm	SNI 06-2432-1991	≥ 100	100

3.2.3 Filler

Filler atau bahan pengisi adalah Bahan atau fraksi dari agregat halus yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) dan memenuhi persyaratan SNI 06-6723-2002. *Filler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu.

3.2.4 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ialah semen Portland, semen yang digunakan harus memenuhi spesifikasi SNI 15-7064-2004. Berikut Tabel 3.4 standar pengujian semen.

Tabel 3.4. Syarat Fisika Semen.

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan utoclave		
-	pemuaian	%	maks. 0,80
-	penyusutan	%	maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat		
-	pengikatan awal	menit	min. 45
-	pengikatan akhir	menit	maks. 375
4	Kuat tekan		
-	umur 3 hari	kg/cm ²	min. 125
-	umur 7 hari	kg/cm ²	min. 200
-	umur 28 hari	kg/cm ²	min. 250
5	Pengikatan semu		
-	penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

Setelah melaksanakan persiapan bahan yang sesuai spesifikasi, maka langkah selanjutnya yaitu mendesain campuran beraspal.

3.3 Desain Campuran Beraspal

3.3.1 Desain Campuran Beraspal Benda Uji Semi Fleksibel

Dalam persiapan campuran, material dalam penelitian diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran Semi Fleksibel, agar mengetahui apakah bahan telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Desain campuran juga bertujuan untuk menyeimbangkan komposisi material yang akan digunakan dalam campuran beraspal, agar menghasilkan sifat yang optimal dan tahan terhadap deformasi. Desain campuran Semi Fleksibel yaitu komposisi campuran pada saat Kadar Aspal Optimum tertentu dengan gradasi terbuka (*Open Graded*) dan kadar rongga sebesar 20 %. kemudian di grouting dengan mortar atau slurry semen dengan rasio FAS

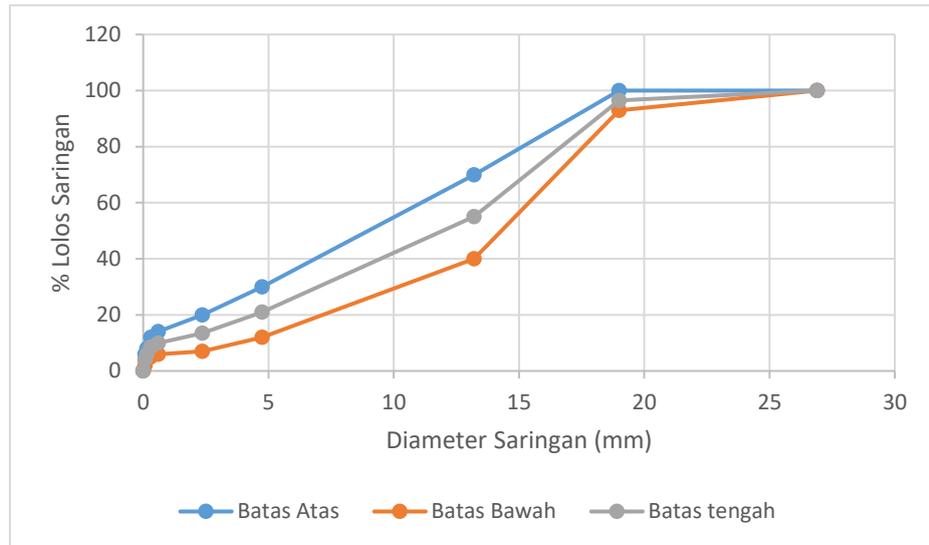
tertentu. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal rencana dengan mempertimbangkan literatur yang ada, digunakan nilai kadar aspal 3,5%, 4%, 4,5%, 5%, 5,5%. Selanjutnya untuk mengrouting semen kedalam campuran beraspal semi flekibel menggunakan variasi dari rasio nilai FAS antara lain 0,45, 0,5, 0,55.

A. Gradasi Agregat

Berdasarkan nilai perkiraan kadar aspal rencana, selanjutnya dilakukan perhitungan proposi agregat yang memenuhi batas atas dan batas bawah sesuai spesifikasi Semi Fleksibel berdasarkan AAPA, gradasi agregat yang digunakan menggunakan nilai batas tengah yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah.

Tabel 3.5. Gradasi Agregat Semi Fleksibel

Diameter Saringan (mm)	Gradasi Terpakai (%)	Spesifikasi	
		Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)
26.9	100	100	100
19	96.5	100	93
13.2	55	70	40
4.75	21	30	12
2.36	13.5	20	7
0.6	10	14	6
0.3	8.5	12	5
0.15	6	8	4
0.075	4	6	2
0.001	0	0	0



Gambar 3.2. Grafik gradasi agregat semi fleksibel

3.3.2 Desain Campuran Beraspal Benda Uji AC-WC

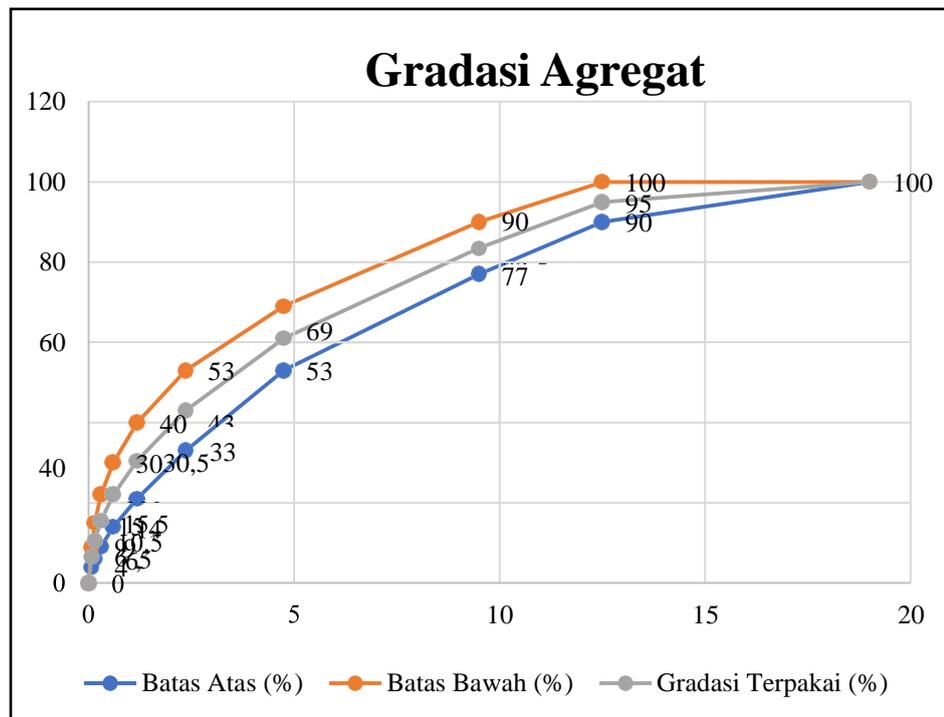
Pada tahap ini dilakukan desain campuran beraspal AC-WC (*Mix Desain*) dengan kadar aspal tertentu dengan tujuan membuat kombinasi campuran aspal, agregat, dan filler dengan tepat sehingga mendapatkan struktur perkerasan yang dapat memberikan kinerja layan yang baik. Pada penelitian ini kadar aspal yang dipilih ialah sebesar 5,5%, 6% dan 6,5% untuk mengetahui kadar aspal optimum campuran aspal.

A. Gradasi Agregat

Berdasarkan nilai perkiraan kadar aspal rencana, selanjutnya dilakukan perhitungan proporsi berat agregat yang lolos saringan yang memenuhi batas atas dan batas bawah sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.3 dibawah.

Tabel 3.6 Gradasi Agregat Persaringan AC-WC

Diameter Saringan (mm)	Gradasi Terpakai (%)	Spesifikasi	
		Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)
19	100	100	100
12,5	95	90	100
9,5	83,5	77	90
4,75	61	53	69
2,36	43	33	53
1,18	30,5	21	40
0,6	22	14	30
0,3	15,5	9	22
0,15	10,5	6	15
0,075	6,5	4	9
Pan	0	0	0



Gambar 3.3 Gradasi agregat AC-WC

3.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Dinamis

Pada tahap ini dilaksanakan pembuatan benda uji dan pengujian. Berikut pembuatan benda uji dan pengujian.

3.4.1 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Semi Fleksibel

Tahap ini dilakukan pembuatan benda uji untuk menentukan KAO pada masing-masing komposisi campuran, yang mana untuk menentukan KAO dilakukan pengujian VIM, *Cantabro Loss*, dan Asphalt Flow Down pada kadar aspal 3,5%, 4%, 4,5%, 5%, 5,5%. Pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm dimana pada saat melakukan pemadatan benda uji dilakukan penumbukan sebanyak 50 kali pada masing-masing sisi. Benda uji yang diperlukan di dalam penelitian dapat di lihat pada Tabel 3.7 di bawah.

Tabel 3.7. Pembuatan Benda Uji Semi Fleksibel

Variasi Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji		
	VIM (Rongga Udara)	Cantabro Loss (Kehancuran)	Asphalt Flow Down (Kelelehan Aspal)
3,5%	3	3	3
4%	3	3	3
4,5%	3	3	3
5%	3	3	3
5,5%	3	3	3
Jumlah	15	15	15

Tahapan pembuatan benda uji sebagai berikut:

1. Menimbang agregat yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji dan timbang sesuai kebutuhan dengan timbangan ketelitian 0,01 gram. Setelah itu masukan agregat kedalam oven dengan suhu $\pm 175^{\circ}\text{C}$ kemudian tunggu selama ± 1 hari.
2. Mengeluarkan agregat dari oven, kemudian menimbanginya lalu dituangkan aspal sesuai kadar aspal rencana masing-masing sampel.
3. Menggoreng agregat yang telah dituang aspal hingga tercampur merata.
4. Kemudian masukan sampel yang telah digoreng ke dalam mold.
5. Lalu menumbuk benda uji sebanyak 50 kali pada sisi atas dan bawah benda uji.
6. Setelah didiamkan ± 1 hari pada suhu ruangan, lepas benda uji dari mold.

A. Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal.

Prosedur pengujian *Asphalt Flow Down* adalah sebagai berikut:

1. Cetakan berupa cawan yang dilapisi dengan kertas alumunium foil, berat cetakan tersebut ditimbang dan dicatat;
2. Selanjutnya dibuat campuran beraspal seberat ± 1100 gr dan setelah tercampur merata dituangkan di atas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m_2);

3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ selama +60 menit.
4. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan;
5. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran beraspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil ditimbang dan dicatat (m_3).

Besarnya *Asphalt Flow Down* dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{AFD} = (m_3 - m_1 / m_2 - m_1) * 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

AFD = *Asphalt flow down* (%);

m_1 = berat cetakan berupa cawan (gr);

m_2 = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr);

m_3 = berat cetakan beserta campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil (gr).

Australian Asphalt Pavement Association (2004) menyebutkan campuran aspal memiliki nilai abrasi loss maksimal 0.3%.

Data pengujian Asphalt Flow Down disajikan pada Tabel 3.8 dibawah.

Tabel 3.8. Hasil Pengujian Asphalt Flow Down

Sampel	Kadar Aspal (%)	Cawan + Campuran (gr)	Lekatan aspal + Cawan (gr)	Cawan kosong (gr)	AFD (%)
A1	3.5	1391.1	185.2	184.1	0.091
A2	3.5	1392.5	186.7	185.7	0.083
A3	3.5	1393.6	185.6	184.53	0.088
B1	4	1400.3	185.1	182.6	0.205
B2	4	1405.3	183.9	181.6	0.188
B3	4	1395.3	182.7	180.6	0.173
C1	4.5	1405.1	185	181.8	0.262
C2	4.5	1407.2	184.8	181.4	0.277
C3	4.5	1399.5	184.9	181.6	0.271
D1	5	1419.9	195.5	189.5	0.488
D2	5	1382	195.8	190.2	0.470
D3	5	1397.6	195.9	189.2	0.554
E1	5.5	1417.9	200.4	189.3	0.903
E2	5.5	1420.5	203.3	191.9	0.928
E3	5.5	1419.3	202.8	191.5	0.920

B. Pengujian *Cantabro Loss*

Australian Asphalt Pavement Association menyebutkan bahwa pengujian ini dimaksudkan untuk melihat ketahanan campuran terhadap pelepasan butir, dimana benda uji hasil pemadatan dengan alat *marshall* dimasukan ke dalam pengujian abrasi “*Los Angelos*”

Prosedur pengujian *cantabro loss* adalah seperti berikut.

1. Benda uji dipadatkan dengan jumlah tumbukan masing-masing 50 pada kedua sisinya lalu didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang dan minimal 6 (enam) jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang

2. Sebelum benda uji dimasukkan kedalam mesin *Los Angeles* untuk pengujian, benda uji di timbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (Mo).
3. Selanjutnya benda uji dimasukkan kedalam mesin *Los Angeles*.
4. Kemudian mesin dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola baja.
5. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dari mesin dan ditimbang untuk mengetahui berapa berat sampel yang hilang.

Data pengujian *Cantabro Loss* dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 di bawah.

Tabel 3.9. Hasil Pengujian *Cantabro Loss*

Kadar Aspal (%)	Nama Sampel	Berat sebelum di oven (gr)	Berat setelah di oven (gr)	Berat sebelum Abrasi Los Angeles (gr)
3.5	a1	1201.4	1168.6	1207.7
3.5	a2	1200.6	1168.1	1202.4
3.5	a3	1201.4	1167.3	1192
4	b1	1201.4	1171.4	1202.2
4	b2	1201.9	1173.2	1203.8
4	b3	1200.9	1170.2	1201.5
4.5	c1	1200.9	1168.6	1207.8
4.5	c2	1201.5	1169	1225.7
4.5	c3	1202.2	1170	1207.8
5	d1	1204.6	1173.5	1230.5
5	d2	1204.4	1174.4	1198.6
5	d3	1201.6	1170.6	1232.4
5.5	e1	1201.7	1170.8	1197.3
5.5	e2	1204.1	1173	1218.7
5.5	e3	1202	1169.5	1223

Tabel 3.10. Lanjutan Hasil Pengujian Cantabro Loss

Kadar Aspal (%)	Berat sebelum Abrasi Los Angeles (gr)	Cantabro loss
3.5	828.3	31.42
3.5	795.8	33.82
3.5	816.4	31.51
4	961.3	20.04
4	932.4	22.55
4	946.3	21.24
4.5	1007.5	16.58
4.5	1052.2	14.16
4.5	1024.4	15.18
5	1102.5	10.40
5	1068.6	10.85
5	1103.9	10.43
5.5	1097.4	8.34
5.5	1151.6	5.51
5.5	1116.4	8.72

C. Pengujian VIM

VIM (*Voids In Mix*) merupakan volume pori dalam campuran yang telah dipadatkan atau banyaknya rongga udara yang berada dalam campuran aspal.

Prosedur pengujian rongga udara atau VIM sebagai berikut :

1. Masukkan campuran ke dalam cetakan berbentuk silinder berukuran diameter 10,16 cm dan tinggi 6,36 cm.
2. Buat masing-masing 3 benda uji untuk tiap kadar aspal.
3. Kemudian timbang dalam keadaan kering oven, timbang dalam keadaan basah, dan timbang dalam keadaan kering permukaan SSD.

Data pengujian VIM dapat dilihat pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 di bawah.

Tabel 3.11. Hasil pengujian VIM (Void in Mix)

Sampel	kadar aspal (%)	Berat di udara (gr)	Berat dalam air (gr)	Berat SSD (gr)	volume bulk (cm ³)
v1	3.5	1201.2	675.21	1225.26	550.05
v2	3.5	1231.45	679.79	1251.44	571.65
v3	3.5	1215.34	691	1237.77	546.77
v4	4	1214.57	683.37	1236.48	553.11
v5	4	1221.78	685.39	1243.47	558.08
v6	4	1225.27	691.41	1251.78	560.37
v7	4.5	1216.19	681.73	1241.92	560.19
v8	4.5	1220.24	681.42	1240.64	559.22
v9	4.5	1221.03	681.55	1240.73	559.18
v10	5	1224.36	683.22	1243.78	560.56
v11	5	1221.89	679.88	1243.76	563.88
v12	5	1227.33	680.08	1241.09	561.01
v13	5.5	1223.29	678.05	1240.45	562.4
v14	5.5	1229.89	686.17	1250.46	564.29
v15	5.5	1216.02	690.09	1239.83	549.74

Tabel 3.12. Lanjutan Hasil Pengujian VIM (Void in Mix)

Berat benda uji (gr)	Berat piknometer + tutup + air (gr)	Berat Piknometer + tutup + air + benda uji (gr)	Gmb (gr/cm ³)	Gmm (gr/cm ³)	VIM (%)
1200	3602.6	4391.4	2.18	2.92	25.17
1200	3602.6	4388.6	2.15	2.90	25.68
1200	3602.6	4403.5	2.22	3.01	26.07
1200	3602.6	4385.2	2.20	2.87	23.62
1200	3602.6	4384.4	2.19	2.87	23.70
1200	3602.6	4384.3	2.19	2.87	23.78
1200	3602.6	4376.5	2.17	2.82	22.91
1200	3602.6	4374.1	2.18	2.80	22.08
1200	3602.6	4374.8	2.18	2.81	22.15
1200	3602.6	4362.9	2.18	2.73	19.97
1200	3602.6	4361.3	2.17	2.72	20.31
1200	3602.6	4360.7	2.19	2.72	19.44
1200	3602.6	4350.5	2.18	2.65	18.05
1200	3602.6	4351.2	2.18	2.66	18.01
1200	3602.6	4356.1	2.21	2.69	17.70

D. Pengujian Kuat Tekan Mortar dari rasio FAS (Faktor air semen)

Pengujian Fas untuk mortar

1. Benda uji yang digunakan pengujian mortar adalah berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm
2. Material yang digunakan pada pengujian yaitu Semen yang digunakan adalah semen portland jenis semen padang dan air.
3. Setelah dilakukan mix campuran dimasukan dalam cetakan



Gambar 3.4. Memasukkan *slurry* semen ke dalam cetakan kubus

4. Semua benda uji dikeluarkan dari cetakannya setelah berumur satu hari dan dilakukan perawatan dengan cara dicuring selama 7 hari.



Gambar 3.5. Proses *curing slurry* semen selama 7 hari

5. Kemudian dilakukan pengujian kuat tekan slurry menggunakan *Compression Testing Machine*..



Gambar 3.6. Pengujian benda uji dengan CTM.

6. Setelah dilakukan pengujian ditentukan dengan Faktor air semen berapa campuran slurry dapat mencapai kuat tekan slurry rencana.

Dalam pengujian slurry semen menggunakan variasi FAS antara lain :0,45, 0,5, dan 0,55. Berikut hasil pengujian kuat tekan rencana pada tujuh hari masa curing disajikan pada Tabel 3.13, Tabel 3.14, dan Tabel 3.15 di bawah.

Tabel 3.13. Kuat Tekan Rencana Untuk FAS 0,45

SLURRY KADAR FAS 0,45				
No Benda Uji	ukuran benda uji (cm)	lama curing (hari)	berat sampel (gr)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
A1	5x5x5	7	209.2	171.4
A2	5x5x5	7	212.5	170.5
A3	5x5x5	7	203.6	171.6
A4	5x5x5	7	216.2	206.3
A5	5x5x5	7	205.8	176.6
A6	5x5x5	7	211.5	167.0

Tabel 3.14. Kuat Tekan Rencana Untuk FAS 0,5

SLURRY KADAR FAS 0,5				
No Benda Uji	ukuran benda uji (cm)	lama curing (hari)	berat sampel (gr)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
B1	5x5x5	7	194.7	150.1
B2	5x5x5	7	202	152.2
B3	5x5x5	7	200.8	177.5
B4	5x5x5	7	205.2	162.6
B5	5x5x5	7	200.9	157.9
B6	5x5x5	7	196.9	158.9

Tabel 3.15. Kuat Tekan Rencana Untuk FAS 0,55

SLURRY KADAR FAS 0,55				
No Benda Uji	ukuran benda uji (cm)	lama curing (hari)	berat sampel (gr)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
C1	5x5x5	7	191.3	111.9
C2	5x5x5	7	189.6	106.5
C3	5x5x5	7	186.8	105.2
C4	5x5x5	7	185.9	145.8
C5	5x5x5	7	187.6	142.4
C6	5x5x5	7	189.7	124.2

slurry semen yang digunakan dalam penelitian ini dirancang dengan menggabungkan semen portland dengan air. komposisi rasio semen Portland dan air berdasarkan pada rasio FAS yaitu 0,45, 0,5, 0,55. Dari variasi FAS tersebut dilakukan untuk mendapatkan kisaran kekuatan 150 - 360 kg/cm² pada pencuringan selama tujuh hari diambil kadar FAS 0,5.

3.4.2 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji AC-WC

Setelah ditentukan proporsi agregat pada campuran AC-WC, maka dilakukan pembuatan benda uji untuk menentukan nilai KAO masing-masing komposisi campuran dengan persentase kadar aspal 5%, 5,5 % dan 6% dari berat total benda uji dengan cara pemadatan sebanyak 75 kali tumbukan untuk masing-masing sisi. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm. Benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16. Pembuatan Benda Uji *Marshall*

Kadar Aspal			Jumlah
5,5%	6 %	6,5%	
3 buah	3 buah	3 buah	9

Tahapan pembuatan benda uji *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 3.7



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 3.7. Tahapan pembuatan benda uji *Marshall* (a) Mengeluarkan agregat dari oven, (b) Menimbang agregat dan aspal, (c) Mencampurkan agregat dan aspal, (d) Memasukkan benda uji kedalam *mold*, (e) Memadatkan benda uji, (f) Hasil benda uji.

A. Pengujian *Marshall*

Berikut ini merupakan tahapan pengujian *Marshall*.

1. Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*.



Gambar 3.8. Alat uji *marshall*.

2. Prosedur pengujian *Marshall*
 - a. Pemeriksaan tinggi benda uji, berat kering, berat benda uji dalam air dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh.
 - b. Melakukan perendaman benda uji di *waterbath* di dalam air selama 30 menit dengan suhu 60°.
 - c. Benda uji dikeluarkan kemudian diletakan pada alat uji *Marshall* untuk dilakukan pengujian.
 - d. Dari hasil pengujian didapat nilai stabilitas, *flow*, VMA, VIM, *density*, dan *Marshall Quotient*.

B. *Bulk Density* dan Kandungan Rongga Campuran

Berat jenis bulk adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu, dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula (Estela Laoli dkk, 2013). *Void in Mix* (VIM) dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas rongga udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis, kadar rongga udara pada campuran. Nilai hasil kadar rongga pada masing-masing benda uji. Dan untuk nilai rata-rata *bulk density* dan kandungan rongga pada campuran disajikan pada Tabel 3.17 dibawah.

Tabel 3.17. *Bulk Density* dan Kandungan Rongga Campuran

Parameter	<u>Kadar Aspal</u>		
	5,5%	6,0%	6,5%
VIM rata-rata (%)	5,83	4,83	4,59
Standar deviasi	0,21	0,01	0,35
Koefisien variasi (%)	3,5	0,2	7,6
VMA rata-rata (%)	18,2	18,4	19,3
Standar deviasi	0,18	0,01	0,30
Koefisien variasi (%)	0,98	0,06	1,54
VFB rata-rata (%)	67,9	73,7	76,2
Standar deviasi	0,82	0,05	1,44
Koefisien variasi (%)	1,20	0,07	1,9

C. Stabilitas dan *Flow*

Tujuan dari pengujian stabilitas dan *flow* berdasarkan metode *Marshall* adalah untuk mengetahui nilai stabilitas dan *flow* campuran aspal di laboratorium sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan sedangkan *flow* atau kelelahan adalah besarnya

perubahan bentuk yang terjadi akibat beban tersebut. Dan untuk nilai rata-rata stabilitas dan *flow* disajikan pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18. Hasil Uji Stabilitas dan *Flow*

Parameter	Kadar Aspal		
	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas rata-rata (Kg)	1635,0	1815,6	1631,6
Standar deviasi	0,62	0,50	2,30
Koefisien variasi (%)	0,04	0,03	0,14
Flow rata-rata (mm)	3,3	3,2	3,4
Standar deviasi	0,005	0,009	0,009
Koefisien variasi (%)	0,14	0,28	0,25

3.5 Menentukan Kadar Aspal Optimum

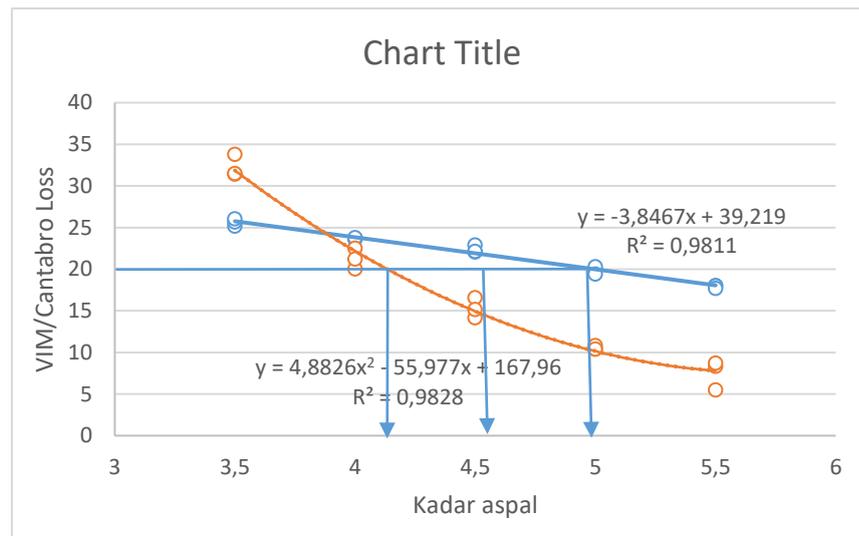
3.5.1 Kadar Aspal Optimum Benda Uji Semi Fleksibel

Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum) campuran aspal dalam penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association*. Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum) dengan metode ini mensyaratkan tiga parameter yaitu *VIM*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down*. Dari hasil parameter diatas akan dibuat grafik hubungan antara kadar aspal yang digunakan dalam penelitian yaitu 3,5%, 4%, 4,5%, 5% , dan 5,5% dengan *VIM*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down*. Sehingga dapat ditentukan KAO pada campuran aspal. Nilai spesifikasi penentuan KAO metode Australia dapat dilihat pada Tabel 3.19 berikut:

Tabel 3.19. Spesifikasi Penentuan KAO Metode AAPA.

Spesifikasi	Syarat
<i>Cantabro loss</i>	maks 20%
<i>Asphalt flow down (AFD)</i>	maks 0.3%
(VIM)	10 - 25 %

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association* (2004).

Gambar 3.9. Grafik hubungan VIM & *Cantabro Loss*

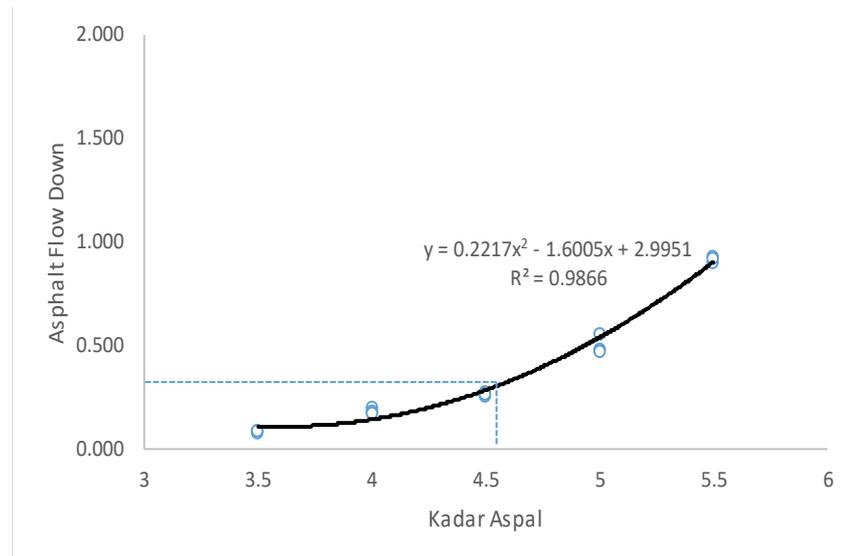
X	CL
4.15	19.7460
4.02	21.8372
4.1	20.5308
4.12	20.2139
4.1335	20.0023

X	VIM
4.5	21.9088
5	19.9855
4.995	20.0047

KAO	4.564
-----	-------

Dari Grafik Hubungan VIM dan *Cantabro Loss* didapat nilai Kadar Aspal Optimum sebesar 4,56%. Setelah didapat nilai KAO tersebut di kalibrasi

dengan grafik *Asphalt Flow Down* yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah.



Gambar 3.10. Penentuan kadar aspal optimum semi fleksibel

Maka hasil KAO sebesar 4,56% tepat. Maka setelah menentukan KAO selanjutnya ketahap Pembuatan benda uji dinamis.

3.5.2 Kadar Aspal Optimum Benda Uji AC-WC

Penentuan kadar aspal optimum dengan pengujian *Marshall* bertujuan untuk menentukan besarnya kadar aspal efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama tetapi dengan kadar aspal optimum yang telah didapatkan. Pada penelitian ini menggunakan *Marshall Mix Design* sebagai metode dalam menentukan kadar aspal optimum dengan berdasarkan spesifikasi 504 *Main Road Western Australia*. Berdasarkan spesifikasi ini, campuran aspal disesuaikan dengan standar pengujian untuk metode sesuai dengan desain *Marshall* yang terdapat pada Tabel 3.20 untuk mengetahui kadar pengikat

yang optimal. Untuk mencapai nilai batas karakteristik *Marshall* pada tabel 3.21. Dalam penelitian ini, rongga dalam campuran direncanakan untuk mencapai kadar rongga udara sebesar 5% dengan pemadatan 75 tumbukan, dengan kisaran rongga udara 4% - 7% sesuai dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 3.21. Untuk nilai VIM rata-rata yang didapatkan setelah pengujian *Marshall* disajikan pada Tabel 3.22.

Tabel 3.20. Parameter Desain Untuk Campuran Aspal Bergradasi Padat

Parameter	Standar
<i>Maximum density of asphalt : Rice Method</i>	WA 732.2
<i>Bulk density</i> dan kandungan rongga aspal	WA 733.1
Stabilitas dan <i>flow</i> : metode <i>Marshall</i>	WA 731.1

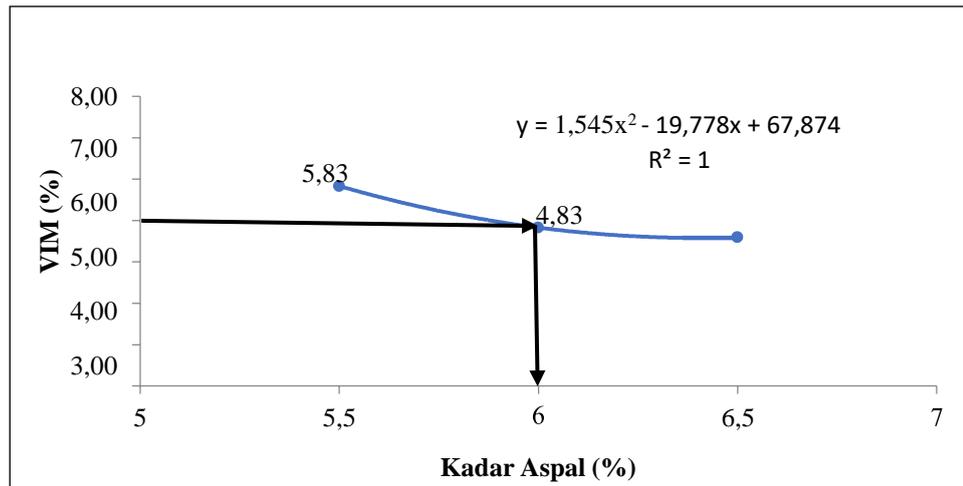
Tabel 3.21. Karakteristik *Marshall* untuk Campuran Aspal Bergradasi Padat

Parameter	Nilai	
	Minimum	Maksimum
Stabilitas <i>Marshall</i>	8,0 kN	-
Aliran <i>Marshall</i>	2,0 mm	4,0 mm
VIIM, nominal 14 mm	4,0%	7,0%
VMA, nominal 14 mm	14%	

Tabel 3.22. VIM Rata-rata (*Void In Mix*)

Variasi RCA (%)	VIM rata-rata (%)		
	Kadar Aspal		
	5,5%	6,0%	6,5%
0	5,83	4,95	4,31

Berikut ini ialah grafik VIM rata-rata berdasarkan Tabel 3.21. yang digunakan untuk menentukan nilai Kadar Aspal Optimum.



Gambar 3.11. Menentukan kadar aspal optimum AC-WC

Berdasarkan grafik VIM diatas, didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6 %

3.6. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Dinamis

3.6.1. Pembuatan benda uji dinamis

Dalam pembuatan benda uji dinamis, alat uji yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

1. *Roller Compactor Machine*

Mesin *roller compactor* dalam penelitian ini digunakan untuk pemadatan benda uji sekaligus digunakan saat pengujian dinamis. Adapun memiliki fitur yaitu heater dan wheel load. Heater berguna untuk mengalirkan panas pada roller yang digunakan pada saat pemadatan benda uji, suhu yang digunakan 140°C. Sedangkan pada fitur wheel load ada beragam beban yang dapat dipilih yaitu 0,1-1 Mpa, pada saat pemadatan benda uji digunakan 0,6 Mpa

dan pada saat pengujian bebann yang digunakan 0,5-0,7 Mpa, berikut Gambar dari mesin *roller compactor* yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.12. *Roller Compactor Machine*

2. *Strain Gauge*

Strain gauge pada penelitian ini adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan tekanan pada suatu materi uji. Strain gauge yang digunakan adalah kyowa KC-60-120-A1-11 L5M2R Concrete Strain Gauge. Dimana strain gauge ini memiliki deskripsi panjang 60 mm, resisten 120 ohm, dan khusus untuk beton dan aspal. Yang mana strain gauge nantinya akan ditempel pada benda uji guna membantu mendeteksi regangan yang terjadi pada benda uji setelah menerima tekanan, *strain gauge* yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.13 dibawah.



Gambar 3.13. *Strain Gauge*

3. *Indicator Strain P-3500*

Alat Indicator Strain ini digunakan dalam pengujian dinamis, dimana alat ini akan membaca regangan yang disalurkan oleh strain gauge dari benda uji, yang mana pada benda uji yang telah dipasangkan strain gauge lalu dari kabel strain gauge dihubungkan dengan alat ini lalu diberikan beban berupa gaya bolak-balik dari roller compactor kemudian alat indicator strain membaca regangan tersebut yang ditampilkan berupa angka microstrain pada layar monitor. *Indicator Strain P-3500* yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.14 dibawah.



Gambar 3.14. *Indicator Strain P-3500*

Kemudian masuk pada pembuatan benda uji dinamis, Pada tahap ini dilaksanakan pembuatan benda uji. Berikut prosedur pembuatan benda uji dinamis

1. Setelah melakukan pengujian *VIM*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down* dan mendapatkan KAO (Kadar Aspal Optimum)
2. Bersihkan cetakan benda uji lalu tuangkan campuran semi fleksibel ke dalam cetakan 30x30x5 cm yang pada bagian bawahnya telah diberi kertas.
3. Lalu campuran semi fleksibel yang telah dimasukkan pada cetakan dipadatkan dengan roller compactor hingga rata pada permukaan cetakan.
4. Setelah dipadatkan benda uji didinginkan dengan cara didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam.
5. Setelah benda uji dingin ($\pm 40^{\circ}\text{C}$) maka proses *grouting* dapat dilakukan.
6. Proses *grouting* dengan menggunakan campuran slurry yang telah diuji kuat tekannya pada rasio FAS tertentu.
7. Slurry dituang merata pada benda uji yang masih berada dalam cetakan.
8. Pada saat slurry dituang, benda uji digetarkan dengan menggoyangkannya di meja sehingga campuran slurry dapat mengisi rongga campuran aspal gradasi terbuka secara merata
9. Kemudian benda uji didiamkan selama 7 hari .
10. Lalu benda uji dikeluarkan dari cetakan.

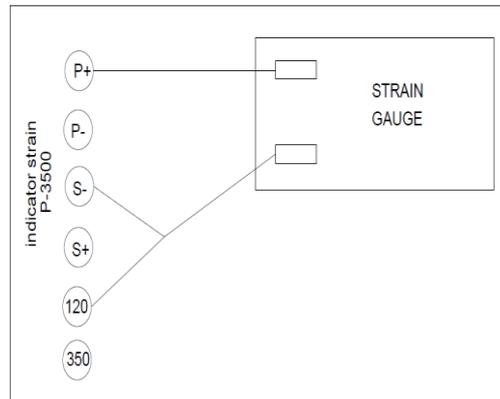
3.6.2. Pengujian Dinamis

Setelah benda uji selesai ditunggu sesuai dengan kuat tekan rencana selama 7 hari. Kemudian lakukan pelubangan pada benda uji dengan cara gerinda bagian tengannya untuk kemudian di pasang strain gauge. Lalu membuat base A yang berguna sebagai landasan benda uji. Dimana komposisi Base A yang digunakan, Agregat 1-2 = 5000 gr, Screening = 1500 gr, dan Abu Batu = 3500 gr, dan Air = 500 gr. Lalu benda uji diletakan di atas cetakan base a, lalu letakan di atas bidang roller compactor. Dilanjutkan dengan menghubungkan kabel strain gauge ke alat Indicator Strain P-3500 lalu jalankan alat roller compactor dan catat nilai strain yang muncul di alat P-3500, dimana gambar menghubungkan dari *strain gauge* ke *indicator strain* ditunjukkan pada Gambar 3.15 dibawah.



Gambar 3.15. Menghubungkan kabel *strain gauge* ke *indicator strain*

Berikut ini manual pemasangan kabel strain gauge ke indicator strain diwakili Gambar 3.16 dibawah ini.



Gambar 3.16. Manual pemasangan *strain gauge* ke *indicator strain P-3500*

Setelah pemasangan kabel strain gauge ke indicator strain selesai, kemudian benda uji diletakan di meja roller compactor yang sebelumnya telah diletakan di atas base A. untuk set up benda uji dapa dilihat pada Gambar 3.17 dibawah ini.



Gambar 3.17. Benda uji saat akan dilakukan pengujian dinamis

Kemudian untuk mengetahui pengaruh pembebanan dinamis terhadap benda uji khususnya regangan yang terjadi pada benda uji, pada penelitian ini digunakan 6 buah benda uji yang mana terdiri dari 3 buah sampel semi fleksibel dan 3 buah sampel ACWC. Dengan berat benda uji masing-masing

pada setiap sampel Semi Fleksibel yaitu 11810 gr, 11922 gr, 12011 gr serta untuk AC-WC yaitu 10182 gr, 10098 gr, dan 10134 gr.

3.7. Proses Analisis

Pada penelitian ini dilakukan analisis nilai regangan yang terjadi pada benda uji berdasarkan hasil pengujian dengan alat strain gauge, guna mengetahui pengaruh beban dinamis terhadap regangan yang terjadi pada benda uji semi fleksibel dan AC-WC.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian studi eksperimental adalah sebagai berikut :

1. Data hasil regangan yang diperoleh untuk benda uji Semi Flesibel nilai rata-rata regangan untu masing-masing pembebanan, untuk 0,7 MPa sebesar 82,5 $\mu\epsilon$, 0,6 MPa sebesar 64,8 $\mu\epsilon$, 0,5 MPa sebesar 43,7 $\mu\epsilon$ dan untuk benda uji AC-WC nilai rata-rata regangan untu masing-masing pembebanan, untuk 0,7 MPa sebesar 161 $\mu\epsilon$, 0,6 MPa sebesar 122,3 $\mu\epsilon$, 0,5 MPa sebesar 54,7 $\mu\epsilon$.
2. Berdasarkan hasil analisis regangan yang terjadi pada benda uji Semi Fleksibel dan AC-WC terjadi perbandingan yang cukup signifikan untuk rata-rata nilai regangan pada masing-masing pembebanan, untuk 0,7 MPa sebesar 52%, 0,6 MPa sebesar 49%, 0,5 MPa sebesar 84%. Sehingga jika dilihat pada pembebanan 0,5 MPa kedua benda uji masih belum mengalami perbedaan signifikan pada nilai regangan.
3. Regangan cenderung mengalami penurunan seiring dengan gilasan selama rentang waktu 60 detik. Hal ini disebabkan karena perkerasan yang diberikan beban secara terus menerus akan menjadi lebih kaku karena rongga/ pori yang terdapat dalam perkerasan akan memampat

atau memadat, sehingga menyebabkan regangan yang terjadi semakin kecil.

4. Berdasarkan hasil analisis terhadap nilai regangan pada sampel Semi Fleksibel dan AC-WC nilai regangan yang terjadi pada sampel AC-WC lebih besar dibandingkan dengan Semi Fleksibel sehingga pada sampel AC-WC lebih mudah meregang saat diberikan beban.
5. Berdasarkan hasil analisis nilai regangan tertinggi pada sampel Semi Fleksibel terjadi pada saat pembebanan 0,7 MPa dengan nilai regangan $87.5 \mu\epsilon$. Dan nilai regangan tertinggi pada sampel AC-WC dengan nilai regangan $186 \mu\epsilon$.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut :

1. Diharapkan pada pembelian strain gauge dilakukan jauh hari bahkan sebelum pengujian, dikarenakan alat strain gauge ini produksi luar negeri dan harus pre-order sehingga peneliti terhambat saat akan melakukan pengujian.
2. Pada pengujian menggunakan 3 sampel Semi Fleksibel dan 3 Sampel AC-WC diharapkan selanjutnya pada saat pembuatan dibuat minimal 6 sampel sebagai acuan untuk nilai masing-masing regangan.
3. Pada saat pengujian hanya dipasang 1 buah strain gauge, diharapkan selanjutnya pada saat pemasangan strain gauge dipasang 2 buah strain gauge guna mendapatkan hasil nilai regangan yang baik.

4. Pada saat pengujian menggunakan alat uji Indicator Strain pengambilan data masih dilakukan secara manual diharapkan selanjutnya pada saat pengujian menggunakan data logger agar dapat tersambung ke alat bantu seperti laptop sehingga pengukuran nilai regangan dapat lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1982. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Part 2. Washington DC.
- Asphalt Institute. 1983. *Principles of Construction of Hot Mix Asphalt Pavement*, Manual Series No.22 (MS-22), Sixth Edition, Maryland. USA.
- Australian Asphalt Pavement Association. 1997. *Open Graded Asphalt Design Guide*.
- Bina Marga. 1987. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*. SKBI-2.4.26.1987, UOC : 625.74.(02). Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Diana, I Wayan. 2000. *Sifat-Sifat Teknik Dan Permeabilitas Pada Aspal Porus*. Tesis Magister. Program Magister Sistem Dan Teknik Jalan Raya. Institut Teknologi Bandung.
- Handayasari, Indah. 2002. *Pengaruh Penggunaan Tappack-Super Sebagai Bahan Tambah Terhadap Permeabilitas Aspal Porus*. Tesis Magister, Program Pascasarjana Departemen Teknik Sipil Bidang Rekayasa Transportasi. Institut Teknologi Bandung.
- Laboratorium Rekayasa Jalan. 2001. *Modul Praktikum Mix Design (Perencanaan Campuran Beraspal)*. Departemen Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung.
- Nakanishi H, Asano K, Goto K. 2001. *Study on Improvement in Durability of*

Porous Asphalt Concrete. Engineering Research Laboratory. Taiyu Kensetsu Co.,Ltd.

Sabita, Ltd. 1995. *The Design and Use of Porous Asphalt Mixes, Manual*
17. Sabita Ltd. South Africa.

Shell. 1990. *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen U.K.

Siswosoebroto, B.I., Ade Safrudin, Budiamin. 2002. *Karakteristik Pasir dan Bahan Pengisi dari Laut serta Pengaruhnya Terhadap Durabilitas Campuran Beraspal Jenis Hot Rolled Sheet*. Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-7 Wilayah Tengah dan Timur. Denpasar.

Subagio, Bambang S, Karsaman, Rudy H., Handayasari, I., dan Suryani, Fitrika M. 2003. *Laboratory Performance Of Porous Asphalt Mixture Using TAFPAC-Super*. Journal Of The Eastern Asia Society For Transportation Studies, Vol.5. Japan.

Standard Nasional Indonesia. 2018. *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar*, Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar*, SNI 03-1974-1990. Bandung : Badan Standarisasi Nasional.

Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan*, SNI 03-6882-2002. Bandung : Badan Standarisasi Nasional.

A. Setyawan, "Assessing the compressive strength properties of semi-flexible pavements," *Procedia Engineering*, vol 54, pp. 863-874, 2013.