



TUGAS AKHIR - RC14-1501

ANALISIS PENGGUNAAN LIMBAH BATU BARA TERSOLIDIFIKASI SEBAGAI MATERIAL PENGANTI FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL BETON

Mikhael Tardas
NRP 3111 100 140

Dosen Pembimbing
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
Dr. Eng Januarti Jaya Eka Putri, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - RC14-1501

ANALYSIS OF COAL WASTE SOLIDIFICATION AS AN ALTERNATIVE FILLER MATERIAL IN ASPHALT-CONCRETE MIXTURE

Mikhael Tardas
NRP 3111 100 140

Major Supervisor
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
Dr. Eng Januarti Jaya Eka Putri, ST., MT.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

**ANALISIS PENGGUNAAN LIMBAH BATU BARA
TERSOLIDIFIKASI SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI
FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL BETON**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Transportasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Oleh :
Mikhael Tardas
3111 100 140**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Pembimbing I:

Ir.Ervina Ahvudanari,ME,Ph.D.

NIP. 196902241995122001

Pembimbing II:

Dr.Eng.Januarti JEP,ST.,MT.

NIP. 197401122005012001



**SURABAYA
JUNI 2015**

ANALISIS PENGGUNAAN LIMBAH BATU BARA TERSOLIDIFIKASI SEBAGAI MATERIAL PENGANTI FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL BETON

Nama : Mikhael Tardas
NRP : 3111 100 140
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing I : Ir.Ervina Ahyudanari,ME.,Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dr.Eng Januarti Jaya
Ekaputri,ST.,MT.

ABSTRAK

Penggunaan limbah batu bara yang sudah banyak digunakan sebagai material pengganti filler dalam campuran aspal beton.Limbah batu bara yang tersolidifikasi perlu diteliti karakteristiknya apabila dicampur dalam aspal beton. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana mencampurkan limbah batu bara tersolidifikasi atau geopolimer dalam hotmix asphalt. Disamping itu untuk mendapatkan hasil analisis pencampuran geopolimer untuk mendapatkan perbandingan nilai stabilitas dan kelelahan dari campuran yang menggunakan geopolimer dan campuran yang tidak menggunakan geopolimer. Nilai stabilitas dan kelelahan dari campuran ini akan menentukan baik tidaknya geopolimer digunakan sebagai material dalam perkerasan lentur. Dalam penelitian ini,tahap awal adalah mencari kelayakan dari material yang digunakan seperti agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Setelah semua material memenuhi persyaratan dilanjutkan dengan tahap mencari mix desain awal. Mix desain ini tanpa menggunakan filler geopolimer dan menggunakan perkiraan kadar aspal. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa penggunaan geopolimer meningkatkan stabilitas dalam campuran aspal namun mengurangi nilai

kelelahan dan menambah rongga di dalam campuran. Walaupun nilai kelelehannya turun dan rongga di dalam campurannya semakin banyak, hasil yang di dapat masih memenuhi spesifikasi minimum campuran aspal beton dengan tingkat lalu lintas berat.

Kata kunci : Geopolimer, Hot mix Asphalt, Limbah Batu Bara, Filler Alternatif.

ANALYSIS OF COAL WASTE SOLIDIFICATION AS AN ALTERNATIVE FILLER MATERIAL IN ASPHALT-CONCRETE MIXTURE

Name : Mikhael Tardas
NRP : 3111 100 140
Department : Teknik Sipil FTSP – ITS
Major Supervisor I : Ir.Ervina Ahyudanari,ME.,Ph.D.
Major Supervisor II : Dr.Eng Januarti Jaya
Ekaputri,ST.,MT.

ABSTRACT

Using of coal waste as an alternative filler material has been used in asphalt concrete mix. A research must need to see the characteristic of coal waste that has been solidificate as filler mixed in asphalt concrete. The reason of this research is there are significant improvement of mixing coal waste as a filler in asphalt concrete, in addition to utilize waste material as a substitute material in road pavement. This feasibility study elaborates how to combine a geopolymer in asphalt hotmix and to obtain the analysis of geopolymer mixture regarding flexible pavement to get comparative stability and melting value by geopolymer and non-geopolymer mixtures. Stability and melting value from this mixture will determine the quality of geoploymer as an alternative material for flexible pavement. The first step in this study is to find feasibility of material that will be use for asphalt concrete mix like, coarse aggregate, fine aggregate, filler, and asphalt. After all material sufficient for specification the next step is to search for outset mix design. This mix design not include geopolymer as filler and still use estimate composition of asphalt. Result of this study show that geopolymer can be used as filler in asphalt concrete because it increase the stability of the mix. Although it decrease flow and increase void in mix, the values are sufficient

for the minimum specification for heavy load traffic for asphalt concrete.

Keyword: Geopolymer, Hot Mix Asphalt, Coal Waste, Alternative Filler.

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji bagi Tuhan yang Maha Pengasih dan Penyayang karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Penggunaan Limbah Batu Bara Tersolidifikasi Sebagai Material Pengganti Filler Dalam Campuran Aspal Beton”.

Disadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini tidak akan berhasil tanpa adanya keterlibatan berbagai pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada keluarga penulis, Theodora Rahmadina Siagian dan Frans Krisos Sihombing sebagai orang tua yang selalu sabar dan terus memberikan doa dan dukungan. Kedua adik penulis, Hanna Anggiana dan Sofia Princessta yang memberikan semangat sampai tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
2. Ir.Ervina Ahyudanari,ME.,Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar membimbing penulis dan atas segala inspirasi, motivasi, juga dukungannya sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
3. Dr.Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST.,MT. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sepenuh hati memberikan ilmu geopolimer dan dukungan material sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.
4. Ir. Hitaprija Suprayitno, M.Eng, Budi Rahardjo, ST. MT, dan Cahya Buana, ST. MT selaku dosen penguji tugas akhir atas segala masukan dan arahan dalam penyusunan tugas akhir.
5. Seluruh dosen program studi Teknik Sipil ITS yang telah mencurahkan ilmunya kepada penulis selama menempuh studi.
6. Seluruh teman-teman kosan Las Manyar: Rizqi Billah Basalamah, M.Alfiro Taranto, Indra Prabowo, Suwignya Jaya Hadikusuma, M.Rianto Rahadian, Fajar Aribisma, Agung Tri Anshari, Daviq YE, Ridho Anjiko,

Lucky Andika, Aditya Manggala, dll yang telah memberikan dukungan dari awal perkuliahan sampai selesainya tugas akhir ini.

7. Teman-teman Sipil ITS 2011 yang telah memberikan dukungan sampai selesainya proposal tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, sehingga saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Desember 2014

Mikhael Tardas

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Ruang Lingkup Pekerjaan	5
Bab II Tinjauan Pustaka	7
2.1 Umum	7
2.2 Aspal Beton	7
2.2.1 Material.....	8
2.2.1.1 Agregat Kasar	8
2.2.1.2 Agregat Halus.....	9
2.2.1.3 Filler	9
2.2.1.4 Aspal Keras	10
2.2.2 Gradasi.....	10
2.2.3 Persyaratan Campuran Aspal Beton	11
2.3 Geopolimer	12
2.3.1 Aplikasi dan Keuntungan Geopolimer	12
2.3.2 Material Penyusun Geopolimer.....	14
2.3.3 Proporsi Campuran.....	16
2.3.4 Solidifikasi	17
BAB III Metodologi	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19

3.2 Studi Literatur	21
3.3 Praktikum Laboratorium	21
3.3.1 Pemeriksaan Terhadap Bahan Geopolimer	21
3.3.2 Mix Desain Pasta Geopolimer.....	21
3.3.3 Pembuatan Pasta Geopolimer.....	22
3.3.4 Tes Kuat Tekan Pasta Geopolimer 20x40mm ²	22
3.3.5 Pemeriksaan Terhadap Aspal	22
3.3.6 Pemeriksaan Terhadap Agregat.....	23
3.3.6.1 Pemeriksaan Agregat Kasar.....	23
3.3.6.2 Pemeriksaan Agregat Halus dan Filler	23
3.3.7 Mix Desain Campuran.....	23
3.3.7.1 Kalibrasi dan Marshall Test	25
3.3.7.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum	25
3.3.8 Pemeriksaan Benda Uji	26
3.4 Analisis Data.....	27
BAB IV Hasil Data dan Analisis Penelitian.....	29
4.1 Hasil Pengujian Material	29
4.1.1 Pengujian Komposisi Fly Ash.....	29
4.1.2 Mix Desain Pasta Geopolimer	30
4.1.3 Tes Kuat Tekan 28 Hari Pasta Geopolimer.....	36
4.1.4 Agregat Kasar.....	41
4.1.5 Agregat Halus dan Filler	42
4.1.6 Pengujian Karakteristik Aspal.....	44
4.2 Mix Desain Campuran Aspal Beton	44
4.2.1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat.....	44
4.2.2 Proporsi Material Campuran	47
4.3 Kadar Aspal Optimum Dari Tes Marshall	52
4.4 Mix Desain Campuran Kadar Aspal Optimum	62
4.5 Hubungan Antara Variasi Filler dengan Karakteristik Campuran Aspal Beton	63
4.6 Ringkasan.....	67
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	75
5.1 Kesimpulan	75

5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan Agregat Kasar Spesifikasi Tahun 20068
Tabel 2.2	Ketentuan Agregat Halus Spesifikasi Tahun 20069
Tabel 2.3	Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70 Spesifikasi 200610
Tabel 2.4	Gradasi Agregat Menurut Standar Bina Marga10
Tabel 2.5	Persyaratan Campuran Aspal Beton11
Tabel 3.1	Jumlah Benda Uji Kadar Aspal Perkiraan24
Tabel 3.2	Jumlah Benda Uji Kondisi Aspal Optimum26
Tabel 4.1	Komposisi Kimia Fly Ash Kelas C.....29
Tabel 4.2	Komposisi Kimia Fly Ash Kelas F30
Tabel 4.3	Kebutuhan $NaOH$ dan Na_2SiO_332
Tabel 4.4	Kebutuhan Bahan dalam Pembuatan Pasta Geopolimer untuk Setiap Sampel32
Tabel 4.5	Kebutuhan Benda Uji.....32
Tabel 4.6	Kebutuhan Bahan dalam Pembuatan Benda Uji Pasta Geopolimer33
Tabel 4.7	Kebutuhan Bahan dalam Pembuatan Benda Uji Pasta Geopolimer untuk menjadi <i>Filler</i>35
Tabel 4.8	Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer.....37
Tabel 4.9	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar.....41
Tabel 4.10	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus.....42
Tabel 4.11	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler Fly Ash</i> dan Geopolimer43
Tabel 4.12	Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/7045
Tabel 4.13	Pemeriksaan Gradasi Agregat.....41
Tabel 4.14	Gradasi Gabungan.....49
Tabel 4.15	Berat Material Campuran.....51
Tabel 4.16	Data Marshall Test.....55
Tabel 4.17	Marshall Test56
Tabel 4.18	Hasil Rata-rata Marshall Test58
Tabel 4.19	Berat Material Campuran dengan Kadar Aspal Optimum62
Tabel 4.20	Mix Desain Campuran69

Tabel 4.21	Perbandingan Nilai Karakteristik dengan Variasi Filler.....	70
Tabel 4.22	Hasil Tes Kehalusan Fly Ash.....	72
Tabel 4.23	Perbandingan Kuat Tekan Geopolimer dengan Stabilitas	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Alur Kerja	19
Gambar 3.2	Contoh Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	25
Gambar 4.1	Penimbangan Fly Ash Kelas C Untuk Pembuatan Pasta.....	33
Gambar 4.2	Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida yang digunakan untuk alkali aktivator.....	33
Gambar 4.3	Cairan Aktivator	34
Gambar 4.4	Pencampuran Fly Ash dengan Cairan Aktivator dengan Menggunakan Mixer	34
Gambar 4.5	Hasil Pasta Geopolimer	34
Gambar 4.6	Pasta Geopolimer Dicitak Dalam Silinder	35
Gambar 4.7	Pasta Geopolimer Untuk Menjadi Filler.....	35
Gambar 4.8	Pasta Geopolimer yang Disiapkan Untuk Uji Tekan 28 Hari	36
Gambar 4.9	Hasil Rata-Rata Kuat Tekan Umur 28 Hari ..	39
Gambar 4.10	Agregat Kasar	41
Gambar 4.11	Agregat Halus	42
Gambar 4.12	Fly Ash Kelas C dan Kelas F	43
Gambar 4.13	Penghancuran Pasta Geopolimer	43
Gambar 4.14	Sebaran Gradasi Agregat.....	47
Gambar 4.15	Metode Grafis	48
Gambar 4.16	Gradasi Campuran Aspal	50
Gambar 4.17	Sample Untuk Setiap Kadar Aspal Perkiraan	51
Gambar 4.18	Sample Agregat Dipanaskan.....	52
Gambar 4.19	Pencampuran Aspal Kedalam Agregat	53
Gambar 4.20	Campuran Aspal Dicitak dan Ditumbuk 2x75 ...	53
Gambar 4.21	Pengukuran Berat Kering, Tinggi, dan Diamter Briket Campuran.....	53
Gambar 4.22	Briket Direndam 24 Jam Sebelum Pengujian.....	54
Gambar 4.23	Penimbangan Berat Jenuh Air Briket Setelah Perendaman 24 Jam	54

Gambar 4.24	Briket Direndam 30 Menit Dalam Air Panas Sebelum Tes Marshall.....	54
Gambar 4.25	Pelaksanaan Tes Marshall.....	55
Gambar 4.26	Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas	58
Gambar 4.27	Hubungan Kadar Aspal dan Flow.....	59
Gambar 4.28	Hubungan Kadar Aspal dan Rongga Dalam Campuran.....	59
Gambar 4.29	Hubungan Kadar Aspal dan Density.....	60
Gambar 4.30	Hubungan Kadar Aspal dan Rongga Terisi Aspal.....	60
Gambar 4.31	Penentuan Kadar Aspal Optimum	61
Gambar 4.32	Kepadatan Campuran Aspal Dengan Berbagai <i>Filler</i>	63
Gambar 4.33	Hubungan VIM dengan Variasi Filler	64
Gambar 4.34	Hubungan Stabilitas dengan Variasi Filler	65
Gambar 4.35	Hubungan VFB dengan Variasi Filler	66
Gambar 4.36	Hubungan Flow dengan Variasi Filler.....	67
Gambar 4.37	Tes Kehalusan Fly Ash.....	71
Gambar 4.38	Garam Hasil Sisa Reaksi Polimerisasi.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan sebagai sarana transportasi darat merupakan unsur vital pengembangan wilayah di Indonesia. Pengadaan jalan telah dimulai sejak zaman kolonial Belanda dan pada perkembangannya telah banyak mengalami perbaikan, baik struktur perkerasannya maupun panjang ruas yang ada. Seiring perkembangan terjadi peningkatan pesat pada jumlah lalu lintas dan bebannya. Hal ini mengakibatkan semakin cepatnya struktur jalan mengalami kerusakan atau perpendekan umur layan (*service time*).

Pembangunan dan pembinaan jaringan jalan di Indonesia berdasarkan pada kebijakan Pembangunan Nasional, dengan mempertimbangkan pemanfaatan sumber daya alam yang ada. Karena itu, diusahakan agar pemerataan dan pemanfaatannya dapat segera dirasakan oleh masyarakat. Berdasarkan hal tersebut maka kebijakan yang ada ditujukan terutama untuk peningkatan kualitas jalan yang telah ada dengan tetap memperhatikan syarat-syarat yang telah ditetapkan.

Pemakaian metode Aspal Beton/*Asphalt Concrete* (AC) sebagai lapisan perkerasan pada proyek-proyek program peningkatan jalan telah banyak dilakukan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Di samping pengadaan proyek-proyek tersebut, yang tidak dikesampingkan adalah usaha-usaha pelestarian lingkungan, baik peningkatan nilai guna sumber daya alam maupun pemanfaatan limbah industri lewat proses daur ulang.

Sejalan dengan hal di atas, maka usaha-usaha penelitian dan perbaikan pada persyaratan pengadaan lapis perkerasaan dilakukan untuk mencapai hasil yang optimum. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mencari bahan alternatif campuran perkerasan untuk dipakai pada metode campuran dengan durabilitas tinggi seperti yang telah disebutkan. Tingginya suhu lingkungan serta perkembangan jumlah beban kendaraan

kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi serta retak pada permukaan perkerasan. Untuk itu, dibutuhkan suatu campuran aspal dengan stabilitas tinggi namun tetap mempertahankan kelenturannya. Kinerja campuran ini dipengaruhi oleh karakteristik bahan pencampurannya yaitu gradasi dari agregat serta sifat aspal.

Dari *Second International Airport Conference* mengenai *High Performance Fiber Reinforced Geopolymer Concrete For Pavement* (2006) diperoleh bahwa geopolimer sudah digunakan untuk campuran beton dalam perkerasan kaku dan ditemukan bahwa penambahan geopolimer meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan retak.

Apa itu beton geopolimer? Beton geopolimer adalah jenis beton yang 100 % tidak menggunakan semen. Tidak digunakannya semen merupakan salah satu usaha dalam pelestarian lingkungan. Karena pada saat proses memproduksi semen, terjadi pula emisi CO₂ ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi. Dengan kata lain, bahwa untuk memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO₂ ke dalam udara (Davidovits,1994). Hal inilah yang merupakan salah satu faktor pendorong untuk ditemukannya bahan alternatif lain yang bisa menggantikan posisi semen dalam campuran beton.

Salah satu material dasar pengganti semen adalah *fly ash* yang berasal dari hasil pembakaran batu bara. *Fly ash* digunakan sebagai sumber material untuk membuat binder yang dibutuhkan dalam campuran beton. Beton Geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa (Davidovits,1999). Oleh karena itu dibutuhkan cairan akitvator untuk bereaksi menjadi binder seperti pada semen yang menggunakan air, jenis aktivatornya harus sesuai dengan jenis *fly ash* dan juga komposisinya harus tepat sehingga bisa terjadi reaksi kimia. Aktivator yang umumnya digunakan adalah *Sodium Hidroksida (NaOH)* 8 M sampai 14 M dan *Sodium Silikat*

(Na_2SiO_3) dengan perbandingan massa antara larutan Na_2SiO_3 : $NaOH$ adalah 0.4 sampai 2.5 (Hardjito, 2005).

Davidovits sebagai penemu geopolimer menyebutkan beton geopolimer ramah lingkungan. Beton geopolimer memanfaatkan material buangan sehingga mengurangi limbah yang mencemari lingkungan, mengurangi kadar CO_2 yang dihasilkan oleh produksi semen dan menjebak racun-racun yang terkandung dalam *fly ash*. Dalam geopolimer terdapat reaksi-reaksi kimia yang mengakibatkan racun-racun tersebut ikut terikat dan membentuk kristal dalam beton.

Sama halnya dengan campuran beton dan perkerasan kaku, campuran aspal beton juga terdiri dari berbagai jenis agregat seperti agregat halus, agregat kasar, *filler* dan aspal sebagai bahan pengikat. Material yang umum digunakan sebagai *filler* pada penyusunan campuran perkerasan lentur adalah semen, pasir, kapur dan abu batu yang mana persediaannya terbatas serta relatif mahal. Bila dilihat dari sumber materialnya, *filler* dari semen, pasir, kapur dan abu batu berasal dari sumber material yang tidak dapat diperbaharui. Untuk itu perlu adanya inovasi-inovasi baru dengan menggunakan alternatif bahan yang lain sehingga program pembangunan dan pemeliharaan jalan dimasa yang akan datang dapat berjalan dengan lancar dan diusahakan lebih ekonomis.

Usaha penggunaan geopolimer sebagai filler dalam campuran aspal beton sudah dilakukan tahun 2011 di Universiti Teknologi Petronas. Hasil pencampuran menunjukkan stabilitas perkerasan yang lebih tinggi dari campuran aspal biasa. Proses pencampuran yang telah dilakukan dalam penelitian tersebut adalah mememasukan pasta geopolimer ke dalam benda uji selama masa pemadatan dan digetarkan dengan *vibration table* agar pasta dapat masuk hingga ke porinya.

Penelitian ini mencoba melakukan pencampuran aspal dengan geopolimer tetapi dengan pendekatan yang berbeda. Perbedaan itu terletak pada campuran molaritas geopolimer dan sistem pemadatan dengan Marshall. Untuk itu penelitian ini akan

menganalisis sifat aspal beton apabila dicampur geopolimer sebagai *filler* dengan variasi molaritas. Diharapkan campuran aspal beton ini dapat memenuhi persyaratan desain jalan raya agar bisa menjadi material alternatif.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan digunakan *filler* geopolimer sebagai campuran bahan perkerasan jalan. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik material campuran aspal beton dengan pasta geopolimer dan aspal beton tanpa geopolimer?
2. Bagaimana mix desain campuran dengan variasi molar *filler*?
3. Bagaimana perbandingan karakteristik desain perkerasan yang berbahan geopolimer dibandingkan dengan tanpa geopolimer dalam campuran aspal beton panas untuk lapisan aspal beton jenis AC-WC?
4. Apakah ada kolerasi antara kuat tekan pasta geopolimer untuk masing-masing molaritas dengan stabilitas campuran?

1.3. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan, maka pada penelitian ini dilakukan pembatasan masalah meliputi:

1. Tidak membahas biaya desain campuran
2. Metode pengujian dilakukan sesuai spesifikasi yang ditetapkan SNI, ASTM dan AASHTO.
3. Geopolimer yang digunakan adalah pasta geopolimer yang telah berumur 28 hari.
4. Menurut fungsinya diklasifikasikan sebagai jalan nasional.

1.4. Tujuan

Tujuan diadakannya penelitian untuk penyusunan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik material campuran yang menggunakan pasta geopolimer dan campuran tanpa pasta geopolimer.
2. Mengetahui mix desain campuran dengan variasi molar *filler*.
3. Mengetahui perbandingan karakteristik desain perkerasan yang berbahan geopolimer dengan tanpa geopolimer dalam campuran aspal beton panas untuk lapisan aspal beton jenis AC-WC.
4. Mengetahui kolerasi antara kuat tekan pasta geopolimer dengan stabilitas campuran.

1.5. Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif pemanfaatan bahan limbah untuk digunakan dalam perkerasan jalan.
2. Mendapatkan tambahan pengetahuan berkaitan dengan variasi molaritas geopolimer dalam sifat mekanik perkerasan lentur.

1.6. Ruang Lingkup Pekerjaan

Dalam penelitian ini, yang termasuk dalam ruang lingkungnya adalah:

- a. Benda uji yang digunakan dalam penelitian :
 - Aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70
 - Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm.
 - Pasta Geopolimer berdasarkan penelitian dari Oktavina (2007).
- b. Jenis pengujian yang dilakukan :

- Uji tekan pasta geopolimer setelah 28 hari.
- Pemeriksaan penetrasi aspal.
- Pemeriksaan titik lembek aspal.
- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar aspal.
- Pemeriksaan berat jenis agregat.
- Pemeriksaan penyerapan agregat.
- Pemeriksaan ketahanan agregat dengan Mesin Los Angeles.
- Analisis saringan.

Praktikum akan dilakukan di dua Laboratorium Teknik Sipil ITS, Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan untuk pengerjaan geopolimer dan Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan untuk pembuatan sampel aspal untuk melakukan Tes Marshall. Tes ini akan dilakukan sesuai spesifikasi SNI, Bina Marga, ASTM atau AASHTO.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Dalam merencanakan campuran perkerasan aspal, dituntut perhatian pada tata cara pemeriksaan material dan campuran secara terinci. Artinya harus diadakan penelitian dan pemeriksaan rencana campuran yang memadai dalam teknik laboratorium dan hubungan pemeriksaan rencana campuran perkerasan aspal adalah menetapkan suatu penggabungan gradasi agregat dan bitumen yang akan menghasilkan campuran dengan:

- Bitumen yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan
- Stabilitas yang memadai sehingga memenuhi kebutuhan lalu lintas
- Rongga yang memadai di dalam total campuran padat sehingga masih memungkinkan adanya sedikit tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas tanpa *bleeding* dan kehilangan stabilitas, namun rongga tersebut cukup rendah untuk mencegah masuknya udara.
- Cukup mudah untuk dikerjakan

Tujuan-tujuan diatas dijadikan tolak ukur untuk penentuan campuran dengan durabilitas tinggi.

2.2. Aspal Beton

Lapisan aspal beton (LASTON) merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan di campur dengan agregat dengan gradasi menerus, dicampur dan kemudian di padatkan dengan suhu tertentu. Adapun menurut fungsi dari lapisan aspal beton ini adalah sebagai berikut:

- Sebagai pendukung beban lalulintas
- Sebagai lapisan aus
- Sebagai pelindung konstruksi di bawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca
- Menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin

Sebagai lapisan jalan yang mendukung fungsinya maka lapisan aspal beton ini diharapkan memiliki sifat-sifat:

- Tahan terhadap keausan akibat beban lalulintas
- Kedap air
- Mempunyai nilai struktural
- Mempunyai stabilitas tinggi

Untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut maka yang perlu diperhatikan adalah kualitas material dan prosedur tes yang dilakukan.

2.2.1. Material

Material lapisan aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. Material harus terlebih dahulu di teliti mutu dan gradasinya. Hal ini sangat perlu dilakukan guna menjamin mutu dari lapisan aspal beton. Menurut ASTM, agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen

Berdasarkan ukuran butiran, Bina Marga mengklasifikasikan agregat menjadi:

2.2.1.1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang tertahan pada saringan no 8. Bahan agregat yang bisa digunakan adalah batu pecah atau kerikil dan dalam keadaan kering. Adapun persyaratan dari Bina Marga 2006 yang diharapkan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar Spesifikasi Tahun 2006

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekatan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 05-2417-1991	Min. 40%
Kekekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angulitas	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	ASTM D-4791	Maks. 10%
Material lolos saringan 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

(Sumber: Bina Marga,2006)

2.2.1.2 Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari bahan-bahan berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dengan ukuran lolos saringan No.8. Agregat halus bisa terdiri dari pasir, bahan halus hasil pecahan batu atau kombinasi dari bahan tersebut dan dalam keadaan kering. Adapun syarat dari Bina Marga 2006 yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus Spesifikasi Tahun 2006

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material lolos saringan no.200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%

(Sumber: Bina Marga,2006)

2.2.1.3. Filler

Filler adalah bahan pengisi ruang antara agregat kasar dan halus, berbutir halus yang lolos saringan no.30 dan dimana persentase berat yang lolos saringan no.200 minimum 75%. Sebagai *filler* dapat digunakan abu batu atau semen Portland, tetapi dalam penelitian ini *filler* yang digunakan adalah geopolimer yang akan dijelaskan pada bab 3. Perlu diperhatikan agar bahan tidak tercampur kotoran dan dalam keadaan kering.

Banyak penelitian tentang penggunaan *filler* tertentu dalam campuran aspal beton hanya menambahkan beberapa persen saja dari *filler* yang sudah ada seperti abu batu. Dalam penelitian ini *filler* geopolimer akan mengganti seluruhnya dari persen *filler* yang didapat pada perencanaan mix desain.

2.2.1.4. Aspal Keras

Aspal yang digunakan merupakan aspal keras penetrasi 60/70 yang memenuhi persyaratan seperti pada Tabel 2.3. Untuk kadar aspal campuran lapisan aspal beton berkisar antar 4% - 7% (terhadap 100% agregat kering), sesuai persyaratan Bina Marga 2006.

Tabel 2.3 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70 Spesifikasi 2006

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 79
2.	Titik Lembek; °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58
3.	Titik Nyala; °C	SNI 06-2433-1991	Min. 200
4.	Daktilitas, 25 °C; cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100
5.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0

(Sumber: Bina Marga,2006)

2.2.2. Gradasi

Gradasi agregat harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagaimana tertera pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Menurut Standar Bina Marga

No. Campuran	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Gradasi/kekat	kasar	kasar	rapat	rapat	rapat	rapat	rapat	rapat	rapat	rapat	rapat
Tatal Padat (mm)	20-40	25-50	25-40	25-50	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-65
Ukuran Saringan		% Berat yang lolos saringan									
1 1/2" (38,1 mm)	-	-	-	-	-	>90	-	-	-	-	-
1" (25,4 mm)	-	-	-	-	100	90-100	-	-	100	100	-
3/4" (19,1 mm)	-	100	-	100	80-100	82-100	100	-	85-100	85-100	100
1/2" (12,7 mm)	100	75-100	100	80-100	-	72-90	80-100	100	-	-	-
3/8" (9,52 mm)	75-100	60-85	80-100	70-90	60-80	-	-	-	65-85	56-78	74-90
no. 4 (4,75 mm)	35-65	35-65	55-75	50-70	48-65	52-70	54-72	62-80	45-65	38-60	48-70
no. 8 (2,38 mm)	20-35	20-35	35-60	35-50	35-50	40-55	42-58	44-60	34-54	27-47	33-53
no. 30 (0,59 mm)	10-22	15-22	18-29	18-29	19-30	24-35	26-30	28-40	20-35	13-28	15-30
no. 50 (0,275 mm)	6-16	6-16	13-23	13-23	13-23	16-26	18-28	20-30	16-26	8-20	10-20
no. 100 (0,149 mm)	4-12	4-12	8-16	8-16	7-15	10-18	12-20	12-20	10-18	-	-
no. 200 (0,075 mm)	2-8	2-8	4-10	4-10	1-8	6-12	6-12	6-12	5-10	4-8	4-8

(Sumber: Bina Marga,2006)

Sedang jenis campuran masing-masing memiliki fungsi sebagai berikut:

- No.Campuran: I,III,IV,VI,VII,VIII,IX,X dan XI digunakan untuk lapisan permukaan
- No.Campuran: II digunakan untuk lapisan permukaan, leveling dan lapisan antara
- No.Campuran: V digunakan untuk lapisan permukaan dan lapisan antara

Gradasi sangat penting dalam pembuatan aspal beton karena dengan gradasi yang baik agregat akan saling mengisi dan mengunci, sehingga terbentuk campuran aspal dengan kekuatan yang diperlukan.

2.2.3. Persyaratan Campuran Aspal Beton

Campuran untuk lapis beton aspal pada dasarnya terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi dan aspal. Masing – masing fraksi agregat terlebih dahulu harus diperiksa gradasinya dan selanjutnya digabungkan menurut perbandingan yang menghasilkan agregat campuran yang memenuhi spesifikasi gradasi. Spesifikasi umum dari campuran beton aspal dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Persyaratan Campuran Aspal Beton

Sifat Campuran	Lalu Lintas Berat		Lalu Lintas Sedang		Lalu Lintas Ringan	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Stabilitas (Kg)	750	-	650	-	460
Kelelahan/flow (mm)	2	4	2	4,5	2	5
Marshall Quorient	200	350	200	350	200	350
Rongga dalam campuran/VIM (%)	3	5	3	5	3	5
Rongga dalam agregat/VMA (%)	15	-	15	-	15	-
Rongga terisi aspal/VFB (%)	63	-	63	-	63	-
Jumlah tumbukan	2 x 75		2 x 50		2 x 35	

Sumber : SNI 03-1737-1989

2.3. Geopolimer

Pada tahun 1978, Joseph Davidovits menemukan bahwa cairan alkalin bisa digunakan untuk mereaksikan silikon (Si) dan aluminium (Al) untuk menghasilkan binder (Li, Ding dan Zhan). Karena reaksi kimia akibat adanya proses polimerisasi, Davidovits (1994,1999) menciptakan "geopolimer" untuk membuat binder. Proses polimerisasi yang terjadi di dalam geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si – Al sehingga menghasilkan rantai polimerik tiga – dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten (Davidovits,1999).

Geopolimer merupakan suatu golongan polimer anorganik yang dibentuk oleh reaksi antara larutan alkali dan sumber bahan aluminosilikat. Bahan itu akan mengeras memiliki struktur tiga dimensi amorf mirip dengan sebuah kaca aluminosilikat. Namun tidak seperti kaca bahan ini terbentuk pada suhu rendah.

2.3.1. Aplikasi dan Keuntungan dari Geopolimer

Sifat-sifat geopolimer sedang dieksplorasi di banyak bidang ilmiah dan industri seperti: kimia anorganik modern, kimia fisik, kimia koloid, mineralogi, geologi, dan semua jenis teknologi rekayasa. Penggunaan geopolimer yang potensial seperti: bahan tahan api, semen dan beton, komposit berteknologi tinggi untuk interior pesawat, mobil dan arkeologi. (Davidovits J., 2008).

Geopolimer juga dapat memberikan kinerja yang sebanding dengan semen tradisional, tetapi dengan keuntungan tambahan secara signifikan berkurangnya emisi rumah kaca. Tergantung pada pemilihan bahan baku, kondisi dalam proses dan pengolahan. Geopolimer dapat menunjukkan berbagai sifat dan karakteristik, termasuk kekuatan tekan yang tinggi, penyusutan rendah, tahan asam, tahan api dan konduktivitas termal yang rendah. Keuntungan dari geopolimer dalam hal penggunaan limbah dan emisi rumah kaca dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.

- Penggunaan limbah
Semen geopolimer dapat dibuat dari bahan pengikat yang pada dasarnya produk limbah :

- *Fly ash* diproduksi di pembangkit tenaga listrik, hasil pembakaran batu bara.
- Residu pengolahan bauksit.
- Limbah tambang tertentu.
- Bahan pozzolan alami

Selain itu bahan halus lain yang mengandung jumlah silikon dan aluminium besar dalam bentuk amorf . Kebanyakan formulasi saat ini menggunakan campuran natrium hidroksida dan / atau natrium silikat sebagai aktivator alkali, tetapi setiap kuat cairan limbah alkali dapat digunakan sebagai pengganti sebagian atau penuh.

- Emisi Gas Rumah Kaca

Penggunaan secara luas semen geopolimer semen dan beton yang dibuat dari itu bisa mengurangi kebutuhan untuk Semen Portland. Ini merupakan peluang yang sangat besar untuk mengurangi emisi karbon dioksida global karena :

- Produksi semen portland membutuhkan kalsinasi batu kapur untuk membentuk komponen kalsium semen Portland; produksi 1 ton semen Portland membebaskan sekitar 1 ton karbon dioksida ke atmosfer.
- Produksi global semen Portland menyumbang sekitar 5 sampai 10 % emisi CO₂ di dunia.
- Asumsi penggunaan binder seperti *fly ash* dan aktivator dari bahan kimia standar, produksi 1 ton semen geopolimer membebaskan hanya 0,16 ton CO₂.
- Penggunaan alkali dari limbah jelas akan mengurangi ini lebih lanjut.

Kesimpulannya adalah bahwa mengganti semen Portland dengan semen geopolimer akan mengurangi jumlah emisi CO₂

yang sekitar 80% atau lebih. Untuk penggantian total akan mengurangi sekitar 4 sampai 8% dari emisi CO₂ dunia saat ini. (Davidovits J., 1994)

2.3.2. Material Penyusun Geopolimer

Sumber material yang memungkinkan untuk dipakai dalam pembuatan beton geopolimer adalah material – material yang banyak mengandung silikon (Si) dan alumunium (Al). Beberapa material yang telah diteliti sebagai sumber material dalam pembuatan beton geopolimer adalah metakaolin yang dibakar pada suhu tertentu (Hardjito,2005) , fly ash ASTM Kelas F (Hardjito,2005) , mineral – mineral alumunium alami – silikon (Hardjito,2005)

Diantara material – material hasil produksi lainnya, hanya *fly ash dan slag* yang telah dibuktikan sebagai sumber bahan yang potensial untuk membuat beton geopolimer. *Fly ash* dianggap menguntungkan jika dibandingkan dengan *slag* karena ukuran partikelnya yang lebih halus sehingga memiliki kereaktifan yang tinggi. *Fly ash* (ASTM Kelas F) dengan kadar *Ca* yang rendah lebih disukai sebagai sumber material jika dibandingkan dengan *fly ash* (ASTM Kelas C) dengan kadar *Ca* yang tinggi. Pengaruh *Ca* dalam *fly ash* adalah sebagai pengikat, semakin tinggi *Ca* dalam *fly ash* akan membuat sifat mengikat diri sendirinya lebih tinggi sehingga akan lebih cepat mengeras saat dalam bentuk pasta.

Dalam penelitian ini sumber material yang dipakai adalah *fly ash*. SNI 03-6414-2002 mendefinisikan pengertian *fly ash*/abu terbang : abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanic. *Fly ash* terutama terdiri atas senyawa *silicate glass* yang mengandung silika (Si), alumina (Al), ferrum (Fe), dan kalsium (Ca).

Kandungan kecil senyawa lain yang terdapat dalam *fly ash* adalah magnesium (Mg), sulfur (S), sodium (Na), potassium (P), dan karbon (C). Kandungan bahan berbahaya yang ada dalam *fly*

ash antara lain : arsenic, berilium, boron, cadmium, chromium, cobalt, lead, mangan, merkuri, selenium, strontium, thallium, vanadium, juga mengandung dioksin dan senyawa PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbon*).

Fly ash umumnya terdiri dari partikel solid yang berbentuk bulat, dan sebagian adalah partikel bulat berongga serta partikel bulat yang berisi partikel-partikel bulat lain yang lebih kecil. Ukuran partikel *fly ash* bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1 μm (micrometer) sampai yang lebih besar dari 100 μm (beberapa literatur menyebutkan ukuran 0,5 μm - 300 μm), dengan sebagian besar partikel berukuran kurang dari 20 μm . Umumnya hanya sekitar 10% sampai 30% ukuran partikel *fly ash* lebih besar dari 50 μm .

Luas permukaan *fly ash* umumnya berkisar 300 m^2/kg - 500 m^2/kg *fly ash*, dengan batas bawah 200 m^2/kg dan batas atas 700 m^2/kg . Specific Gravity (Gs) *fly ash* bervariasi, ada beberapa institusi yang memberikan rentang nilai specific gravity, rentang terbesar yang diberikan dari institusi-institusi tersebut adalah antara 1,6 - 3,1. Pada umumnya specific gravity material *fly ash* berkisar antara 1,9 - 2,55. Massa jenis *fly ash* dalam kondisi loose berkisar 540 - 860 kg/m^3 , dan dalam kondisi dipadatkan dengan penggetaran dalam kemasan pada umumnya mempunyai massa jenis 1.120 - 1.500 kg/m^3 .

Penggunaan *fly ash* dalam berbagai kebutuhan konstruksi didasari oleh pertimbangan :

- Teknis (manfaat yang diperoleh dari sifat dan properti/karakter material *fly ash*)
- Lingkungan (memanfaatkan limbah untuk kepentingan yang berguna)
- Ekonomi (menghasilkan beton yang lebih murah)

Selain *fly ash*, dibutuhkan alkali untuk menjadi aktivator pembentuk geopolimer. Alkali aktivator yang biasanya digunakan untuk membuat geopolimer adalah kombinasi antara *sodium hidroksida (NaOH)* atau *potassium hidroksida (KOH)* dan *sodium silikat atau potassium silikat (Hardjito, 2005)*.

Jenis alkali *aktivator* memegang peranan yang penting dalam proses polimerisasi. Reaksi terjadi pada tingkat yang tinggi ketika alkali *aktivator* ini larut dalam *sodium silikat atau potassium silikat*. Xu dan van Deventer (2000) menetapkan bahwa penambahan *sodium silikat* ke dalam *sodium hidroksida* dapat mempertinggi reaksi antara material dengan alkali yang digunakan. Selanjutnya, setelah suatu study geopolimer terhadap enambelas mineral alumunium alami – silikon, mereka menemukan bahwa pada umumnya *NaOH* lebih baik dibandingkan dengan *KOH*.

2.3.3. Proporsi Campuran

Dari penelitian Hardjito dan Rangan pada tahun 2005 mengenai campuran beton geopolimer. Konsentrasi sodium hidroksida (*NaOH*) yang digunakan berkisar antara 8M – 16M. Tetapi pada penelitian tugas akhir ini dipilih 8M, 10M dan 14M.

Penelitian Hardjito pada tahun 2005 juga memakai perbandingan antara sodium silikat dan sodium hidroksida berkisar antara 0.4 sampai 2.5 dari jumlah massa aktivator. Perbandingan massa antara alkali aktivator dengan fly ash kira – kira 35%. Disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi molaritas sodium hidroksida menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan beton geopolimer. Dan semakin tinggi perbandingan massa antara sodium silikat dengan sodium hidroksida menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan oleh beton geopolimer tersebut. Tetapi pada penelitian ini hanya memilih perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida 1,5 berdasarkan laporan penelitian geopolimer Oktavina pada tahun 2007 yang menyimpulkan semakin tinggi perbandingan massa antara sodium silikat dan sodium hidroksida tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi pula dan dari penelitian tersebut didapatkan hasil uji tekan geopolimer paling optimum yang mempunyai perbandingan massa *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Sodium Hidroksida* (*NaOH*) adalah 1,5.

2.3.4. Solidifikasi

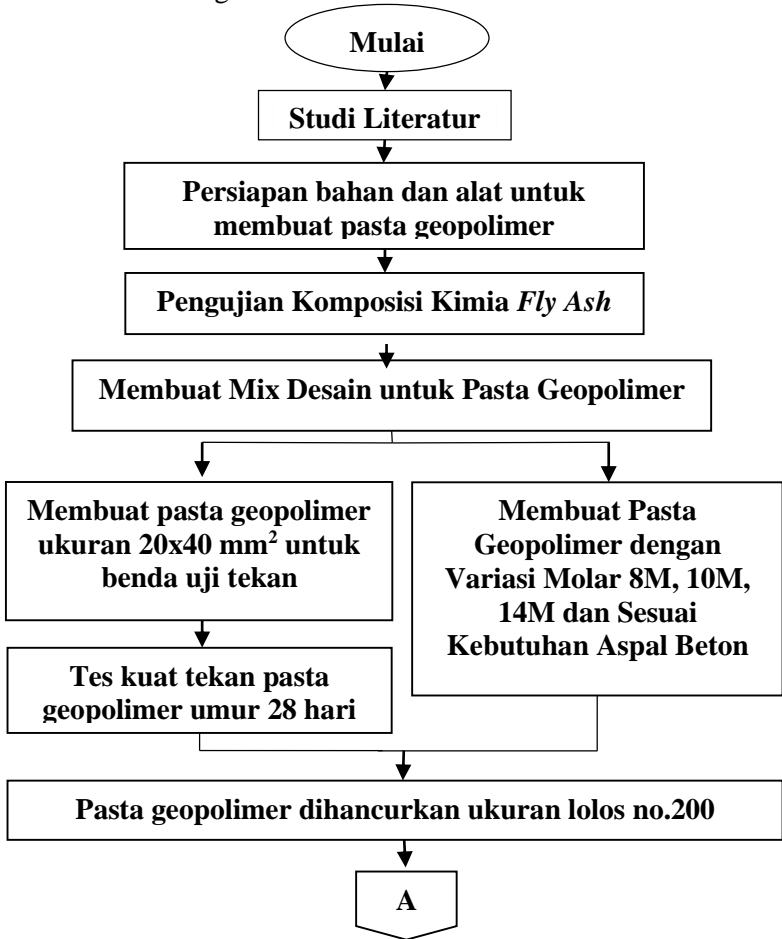
Beberapa keberatan atas pemakaian *fly ash*, karena faktor pengaruh kandungan bahan berbahaya dalam *fly ash*. Dengan adanya proses polimerisasi dalam geopolimer maka *fly ash* akan tersolidifikasi, sehingga kandungan berbahaya di dalam *fly ash* tidak keluar. Pada penelitian Januarti J.Ekaputri pada tahun 2010 ditemukan dengan proses geopolimerisasi maka *fly ash* akan membuat semacam barrier untuk memerangkap boron didalam *fly ash*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

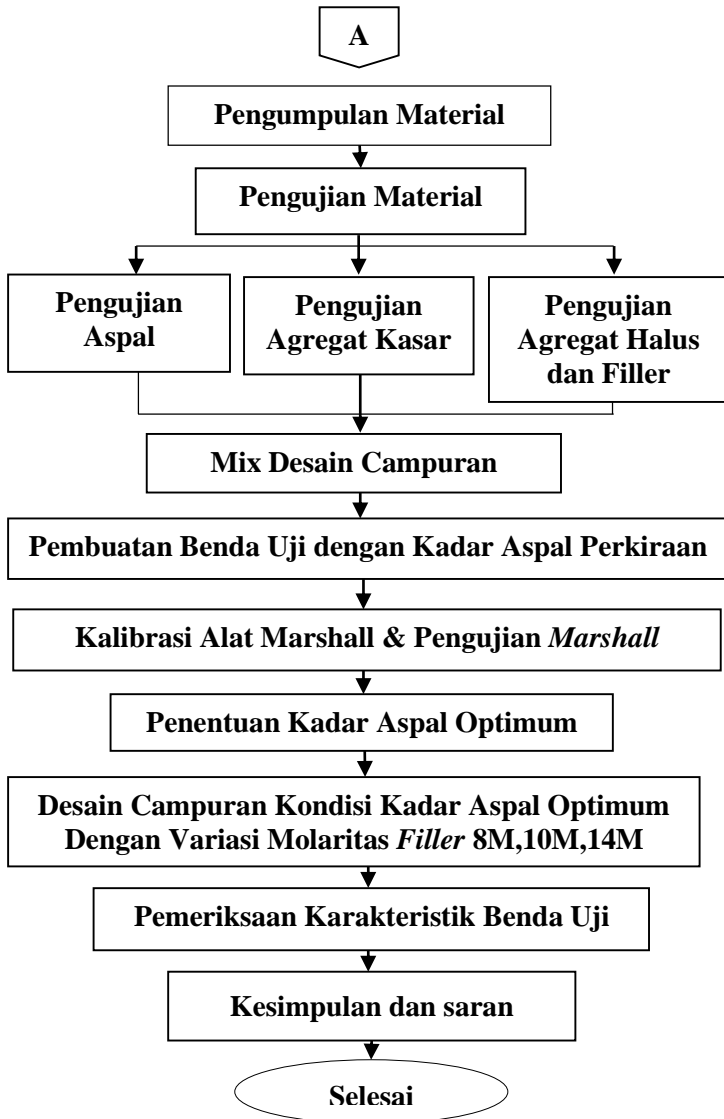
BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alur Kerja



Gambar 3.1 Diagram Alur Kerja (Lanjutan)

Terdapat tiga tahap dalam penelitian ini:

- Studi Literatur
- Praktikum Laboratorium
- Analisis Data

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk dapat memahami material-material yang diperlukan, macam uji dan prosedur yang diperlukan. Studi literatur dilakukan sepanjang penelitian. Hal ini dimaksudkan untuk dapat memahami karakteristik material setelah pengujian dan juga karakteristik hasil campuran.

3.3. Praktikum Laboratorium

Dua praktikum akan dilaksanakan pada tahap ini, pertama pembuatan binder geopolimer dan kedua pembuatan campuran aspal. Pembuatan pasta geopolimer dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan sedangkan campuran aspal dilakukan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

3.3.1. Pemeriksaan Terhadap Bahan Geopolimer

Pemeriksaan komposisi kimia dari *fly ash* yang berasal dari Jawa Power Paiton, Probolinggo, Jawa timur, untuk mengetahui *fly ash* tersebut termasuk dalam kelas F atau kelas C menggunakan metode ASTM C 618–84. Dalam penelitian ini *fly ash* digunakan adalah *fly ash* kelas C.

3.3.2. Mix Desain Pasta Geopolimer

Setelah pemeriksaan *fly ash* dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah merencanakan mix desain geopolimer tersebut. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Menyiapkan alkali aktivator yang akan digunakan ($NaOH$ dan Na_2SiO_3)

2. Pengelompokan molaritas *NaOH* yang digunakan dalam penelitian. Digunakan 3 macam molaritas yaitu 8 M, 10 M, dan 14 M
3. Perbandingan massa antara *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Sodium Hidroksida* (*NaOH*)

Tata cara pelaksanaan mix desain dapat dilihat pada lampiran I-A

3.3.3. Pembuatan Pasta Geopolimer

Setelah mix desain sudah direncanakan, selanjutnya adalah pembuatan binder geopolimer, baik binder untuk uji tekan, maupun binder untuk kebutuhan menjadi *filler* pada campuran aspal beton.

1. Pembuatan pasta geopolimer ukuran 20x40 mm² untuk uji tekan umur 28 hari
2. Pembuatan pasta geopolimer untuk kebutuhan menjadi *filler* dalam campuran aspal beton
3. Pasta geopolimer dihancurkan sehingga ukurannya sesuai (lolos ukuran #200)

Tata cara pelaksanaan pembuatan pasta geopolimer dapat dilihat pada lampiran I-B

3.3.4. Tes Kuat Tekan Pasta Geopolimer ukuran 20x40 mm²

Setelah umur 28 hari binder geopolimer akan dilakukan tes untuk mendapatkan kuat tekan dari binder tersebut. Dalam penelitiannya Oktavina (2007) kuat tekan untuk binder geopolimer maupun pada beton geopolimer terus mengalami kenaikan sampai lebih dari 50 hari. Dari penelitian Oktavina didapat juga untuk umur binder 7 hari sudah mencapai kuat tekan rata-rata 50% dari kuat tekan umur 28 harinya. Tetapi kuat tekan maksimum terdapat di umur 28 hari. Tata cara pelaksanaan tes kuat tekan dapat dilihat pada lampiran I-C

3.3.5. Pemeriksaan Terhadap Aspal

Terdapat beberapa pemeriksaan terhadap aspal yaitu:

1. Pemeriksaan penetrasi untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal
2. Pemeriksaan titik lembek untuk mengetahui suhu aspal mulai melembek
3. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar untuk mengetahui suhu aspal mulai menyala
4. Pemeriksaan daktilitas untuk mengetahui tingkat penguluran aspal

Tata cara pelaksanaan pemeriksaan aspal dapat dilihat pada lampiran II-A

3.3.6 Pemeriksaan Terhadap Agregat

Agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan filler. Jadi ada 3 jenis pemeriksaan terhadap agregat.

3.3.6.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

1. Pemeriksaan abrasi dengan mesin Los Angeles untuk mengetahui ketahanan agregat kasar.
2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan untuk mengetahui besarnya density dan prosen penyerapan agregat.
3. Analisis ayakan untuk mengetahui gradasi agregat kasar.

Tata cara pemeriksaan agregat kasar dapat dilihat di lampiran II-B

3.3.6.2. Pemeriksaan Agregat Halus dan *Filler*

1. Analisa ayakan untuk mengetahui gradasi agregat halus.
2. Berat jenis dan penyerapan agregat untuk mengetahui besarnya density dan prosen penyerapan agregat halus.
Untuk filler hanya dilakukan pemeriksaan berat jenis.

Tata cara pemeriksaan agregat halus dapat dilihat pada lampiran II-B4 dan untuk *filler* dapat dilihat pada lampiran II-B5

3.3.7. Mix Desain Campuran

Setelah persyaratan agregat campuran dipenuhi, maka langkah selanjutnya ialah membuat rencana campuran dan benda

uji yang dimaksud. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan membagi masing-masing fraksi agregat menjadi tiga bagian (agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus), kemudian dilakukan penyaringan untuk pengujian analisa saringan sehingga dihasilkan berat lolos tiap fraksi. Dari hasil data % lolos tersebut dicari komposisi agregat yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan (Spesifikasi Bina Marga). Setelah data % lolos untuk setiap fraksi diketahui, selanjutnya dibuat penentuan komposisi agregat lewat gradasi gabungan. Hasil dari komposisi campuran akan digunakan untuk menentukan nilai kadar aspal. Kadar aspal perkiraan dapat diperoleh dengan rumus:

$$\% \text{ aspal} = 0,035 A + 0,045 B + 1,5$$

Dimana: A = 100 - % lolos ayakan no.8

B = % lolos ayakan no.8 - % lolos ayakan no.200

Setelah diperoleh kadar aspal perkiraan, selanjutnya dibuat lima variasi kadar aspal, dengan dua kadar aspal diatas dan dua kadar aspal dibawah kadar aspal perkiraan dengan peningkatan 0,5%. Pembuatan benda uji dengan kadar aspal perkiraan ini tidak menggunakan *filler* geopolimer melainkan menggunakan *filler* biasa yang didapat dari penyaringan agregat (abu batu). Tabel 3.1 menyajikan jumlah benda uji awal tanpa menggunakan *filler* geopolimer.

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Kadar Aspal Perkiraan

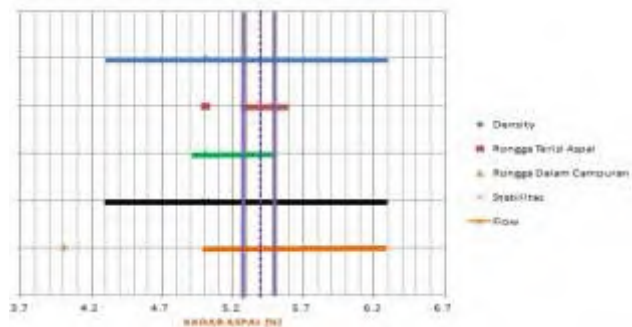
Kondisi Kadar Aspal Perkiraan	
Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji
4,2	2
4,7	2
5,2	2
5,7	2
6,2	2

3.3.7.1. Kalibrasi dan Marshall Test

Benda uji disiapkan untuk dilakukan tes Marshall. Alat uji di laboratorium perlu dilihat apakah sudah dikalibrasi. Angka kalibrasi alat Marshall di laboratorium adalah 7.28, jadi hasil bacaan angka Marshall yang didapat harus dikalikan dengan angka tersebut. Hasil tes juga harus dikoreksi terhadap tinggi benda uji sesuai standard yang ditentukan.

3.3.7.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Setelah benda uji dilakukan Tes *Marshall*, nilai-nilai karakteristiknya di plot dalam grafik sehingga dapat ditentukan penentuan kadar aspal optimumnya. Gambar 3.2 merupakan contoh penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan metode *Bar Chart*. Metode Bar Chart dilakukan dengan memplot nilai kadar aspal yang masuk spesifikasi minimum dan maksimum dari karakteristik benda uji yang dites. Setelah dilakukan Tes Marshall akan didapat nilai karakteristiknya seperti density, rongga terisi aspal, rongga dalam campuran, stabilitas, dan flow. Lalu dilihat dari masing-masing karakteristik kadar aspal mana yang masuk dalam spesifikasi. Setelah di plot di grafik tambahkan dua garis pembatas dimana suatu kadar aspal mempunyai jarak antara minimum dan maksimum yang terdekat. Lalu dari dua garis pembatas itu dibuat lagi garis tengah untuk menentukan kadar aspal optimumnya.



Gambar 3.2 Contoh Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dengan tujuan untuk menguji kelayakan *filler* geopolimer sebagai bahan campuran untuk perkerasan, maka dibuat dengan 3 (tiga) macam variasi. Tiga macam variasi tersebut dibuat dengan menggunakan kadar aspal optimum yang sudah didapat. *Filler* geopolimer yang digunakan lolos ayakan no.200 namun dengan molaritas yang berbeda. Adapun macam variasi tersebut adalah sebagai berikut:

- Campuran yang memakai geopolimer (8M, 10M, 14M) sebagai *filler*
- Campuran yang memakai *filler* biasa (abu batu)
- Campuran yang memakai *filler fly ash* normal

Tabel 3.2 menyajikan jumlah benda uji yang dibuat pada tahap ini.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Kondisi Aspal Optimum

Kondisi Kadar Aspal Optimum							
Kadar Aspal (%)	Variasi Filler Yang Digunakan						
	Abu Batu (Biasa)	Fly Ash (C Biasa)	Geopolimer 8 M	Geopolimer 10 M	Geopolimer 14 M	Fly Ash (F biasa)	Geopolimer 8 M (F)
5,3	3	3	3	3	3	3	3

Pembuatan benda uji dengan *fly ash* kelas F dan geopolimer 8M dari *fly ash* kelas F hanya sebagai pembandingan hasil. Karena material utama yang digunakan adalah *fly ash* kelas C.

3.3.8. Pemeriksaan Benda Uji

Pemeriksaan benda uji yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan berat benda uji kering di udara, serta benda uji kering permukaan (SSD), berat benda uji di dalam air untuk mengetahui density, rongga terisi aspal (VFB), dan rongga terhadap campuran (VIM).
2. Pemeriksaan Test Marshall untuk mengetahui stabilitas, flow dan hasil bagi Marshall. Langkah-langkahnya dapat dilihat pada lampiran II-C

3. Kalibrasi hasil test.

3.4. Analisis Data

Setelah mendapatkan hasil dari pemeriksaan benda uji campuran aspal beton baik yang memakai geopolimer atau tidak maka dibuat tabel dan grafik serta analisa hubungan antara:

- Kadar aspal dan stabilitas
- Kadar aspal dan flow
- Kadar aspal dan rongga terisi aspal (VFB)
- Kadar aspal dan rongga terhadap campuran (VMA)

Lalu dibuat kesimpulan dari analisis data tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV DATA DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Dari hasil pemeriksaan yang dilaksanakan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan untuk pengerjaan geopolimer dan Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan Fakultas Teknik Sipil ITS, diperoleh data pemeriksaan terhadap *fly ash*, agregat kasar, dan agregat halus sebagai berikut:

4.1.1 Pengujian Komposisi *Fly Ash*

Komposisi unsur yang terkandung pada *fly ash* yang akan digunakan pada penelitian ini diuji di Laboratorium PT.Sucofindo Surabaya. Diperoleh data sebagaimana disajikan pada Tabel 4.1. Sementara hasil pemeriksaan berat jenisnya disajikan pada tabel 14.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Fly Ash Kelas C (% massa)

No.	Zat Penyusun	% massa
1	SiO ₂	29.60
2	Al ₂ O ₃	19.33
3	MgO	9.41
4	CaO	22.81
5	Na ₂ O	1.26
6	K ₂ O	1.53
7	Cr ₂ O ₃	0.10
8	MnO ₂	0.19
9	Fe ₂ O ₃	15.47
10	TiO ₂	0.04
11	L O I	Nd

Tabel 4.2 Komposisi Fly Ash Kelas F (% massa)

No.	Zat Penyusun	% massa
1	SiO ₂	48.47
2	Al ₂ O ₃	26.05
3	MgO	2.77
4	CaO	5.18
5	Na ₂ O	0.47
6	K ₂ O	1.66
7	Cr ₂ O ₃	0.02
8	MnO ₂	0.19
9	Fe ₂ O ₃	12.54
10	TiO ₂	0.92
11	L O I	Nd

Dari Tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa *fly ash* ini termasuk *fly ash* kelas C karena kadar kapur yang terkandung di dalamnya lebih dari 10 % (ASTM C 618-03). Dari Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa *fly ash* ini termasuk kelas F karena kadar kapur yang terkandung di dalamnya kurang dari 10 %.

4.1.2. Mix Desain Pasta Geopolimer

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, molaritas Sodium Hidroksida yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 3 macam molaritas yaitu 8 M, 10 M dan 14 M. Massa NaOH 8 M = Massa NaOH 10 M = Massa NaOH 14 M = Massa NaOH yang digunakan. Selain itu perbandingan massa *sodium hidroksida* dan *sodium silikat* yang dipakai juga sudah ditentukan yaitu 1,5. Berikut adalah untuk mendapatkan massa *fly ash*, Na₂SiO₃ dan NaOH.

1) Massa 1 silinder pasta geopolimer ukuran 20x40 mm²

$$\text{Volume 1 silinder} = \frac{1}{4} \pi d^2 t$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \pi (0.02)^2 (0.04) \\
 &= 1.257 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\
 \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\
 &= 2.4 \text{ t/m}^3 \times 1.257 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\
 &= 3.02 \times 10^{-5} \text{ ton} \approx 30.2 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Massa pasta} &= \text{massa (fly ash + aktivator)} \\
 30.2 \text{ gram} &= \text{massa (fly ash + aktivator)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Massa fly ash} &= 74 \% \text{ massa pasta} \\
 \text{Massa fly ash} &= 74 \% \times 30.2 \text{ gram} \\
 &= 22.318 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \text{ Massa aktivator} &= 26 \% \text{ massa pasta} \\
 \text{Massa aktivator} &= 26 \% \times 30.2 \text{ gram} \\
 &= 7.841 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

5) Untuk menentukan berapa besar massa *sodium hidroksida* dan *sodium silikat* yang dipakai, dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan sebagai berikut :

- Perbandingan massa $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5 \rightarrow 1.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$7.841 = 1.5 NaOH + NaOH$$

$$7.841 = 2.5 NaOH$$

$$NaOH = 3.1366 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 4.7048 \text{ gram}$$

Kebutuhan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan pasta geopolimer dapat dilihat pada Tabel 4.3 - 4.5.

Tabel 4.3 Kebutuhan $NaOH$ dan Na_2SiO_3

	$NaOH$ (gram)	Na_2SiO_3 (gram)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$	3.1	4.7

Tabel 4.4 Kebutuhan Bahan dalam Pembuatan Pasta Geopolimer untuk Setiap Sampel

Binder	Fly Ash (gram)	NaOH (gram)	Na_2SiO_3 (gram)
X8-1.5	22.35	3.1	4.7
X10-1.5	22.35	3.1	4.7
X14-1.5	22.35	3.1	4.7

Tabel 4.5 Kebutuhan Benda Uji

Binder	Jumlah Sampel Tes Tekan 28 Hari
X8-1.5	10
X10-1.5	10
X14-1.5	10

Keterangan :

- Binder X8-1.5 : menggunakan larutan NaOH 8M dengan perbandingan massa $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$
- Binder X10-1.5 : menggunakan larutan NaOH 10M dengan perbandingan massa $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$
- Binder X14-1.5 : menggunakan larutan NaOH 14M dengan perbandingan massa $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$

Tabel 4.6 Kebutuhan Bahan dalam Pembuatan Benda Uji Pasta Geopolimer

Fly Ash (gram)	NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
670.5	93	141



Gambar 4.1 Penimbangan Fly Ash kelas C untuk pembuatan pasta



Gambar 4.2 Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida yang digunakan untuk pembuatan pasta



Gambar 4.3 Cairan Aktivator dari Pencampuran Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida



Gambar 4.4 Pencampuran Fly Ash dengan Cairan Aktivator dengan Menggunakan Mixer



Gambar 4.5 Hasil Pasta Geopolimer



Gambar 4.6 Pasta Geopolimer Dicetak dalam Silinder

Untuk perhitungan keperluan pasta geopolimer menjadi *filler* langkah pembuatan pasta sama seperti diatas hanya pasta tidak dicetak di silinder tetapi pada nampan dan dianggap sampel yang dibutuhkan lebih banyak. Kebutuhan bahan dalam pembuatan pasta untuk menjadi *filler* geopolimer dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Kebutuhan Bahan dalam Pembutan Benda Uji Pasta Geopolimer untuk menjadi *Filler*

Fly Ash (gram)	NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
2011.5	465	423



Gambar 4.7 Pasta Geopolimer untuk Menjadi Filler

4.1.3. Tes Uji Tekan 28 Hari Pasta Geopolimer

Setelah pasta dicetak dalam silinder, pasta dibiarkan dahulu mengeras kurang lebih 15 menit lalu dikeluarkan dan di curing dalam wadah plastik. Pencatatan tanggal dibuatnya pasta geopolimer untuk uji tekan harus dilakukan agar didapat umur pasta tepat 28 hari. Tes kuat tekan binder geopolimer ini dilakukan pada saat binder berumur 28 hari. Untuk tes kuat tekan, digunakan 10 benda uji dari setiap komposisi untuk diambil rata-rata dari setiap nilai yang diperoleh.

Berikut ini adalah hasil tes kuat tekan yang dilakukan pada masing – masing komposisi campuran dengan menggunakan mesin torsi universal testing machine AU-5 berkapasitas 5 ton yang berada di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil, ITS.



Gambar 4.8 Pasta Geopolimer yang Disiapkan untuk Uji Tekan Umur 28 hari

Tabel 4.8 Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer

Tanggal Pembuatan	Variasi	No.	Berat Benda Uji (gram)	Luas (cm ²)	P= Beban (kg)	σ = Kuat Tekan (Mpa)
01/08/2015	8M	1	28.4	3.142	1700	53.085
		2	28.8	3.142	1660	51.835
		3	28.4	3.142	1720	53.709
		4	28.9	3.142	1600	49.962
		5	28.7	3.142	1840	57.456
		6	28.9	3.142	1940	60.579
		7	28.9	3.142	1750	54.646
		8	28.8	3.142	2150	67.136
		9	28.6	3.142	2060	64.326
01/12/2015	10M	1	28.3	3.142	2300	71.820
		2	29	3.142	2220	69.322
		3	28.8	3.142	2400	74.943
		4	28.6	3.142	2250	70.259
		5	28.8	3.142	2190	68.385
		6	29	3.142	2300	71.820
		7	28.4	3.142	2090	65.263
		8	29.2	3.142	2070	64.638
		9	28.7	3.142	1970	61.516
14/1/2015	14M	1	28.6	3.142	1820	56.832
		2	28.2	3.142	2270	70.883
		3	28.1	3.142	2040	63.701
		4	28.2	3.142	1970	61.516
		5	28	3.142	1980	61.828
		6	28.2	3.142	1880	58.705
		7	28.5	3.142	1700	53.085
		8	28.6	3.142	2070	64.638
		9	28	3.142	2060	64.326
		10	28.4	3.142	1920	59.954

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat tekan dari masing – masing pasta geopolimer :

Contoh perhitungan kuat tekan pasta 8 M:

Diketahui :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi 2^2}{4} = \pi \text{ cm}^2$$

$$P_1 = 1700$$

$$P_2 = 1660$$

$$P_9 = 2060$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P}{A} \times \frac{1}{g} \\ &= \frac{1700 \times 1}{\pi \times 9.8106} = 53.085 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{P}{A} \times \frac{1}{g} \\ &= \frac{1660 \times 1}{\pi \times 9.8106} = 51.835 \text{ MPa} \end{aligned}$$

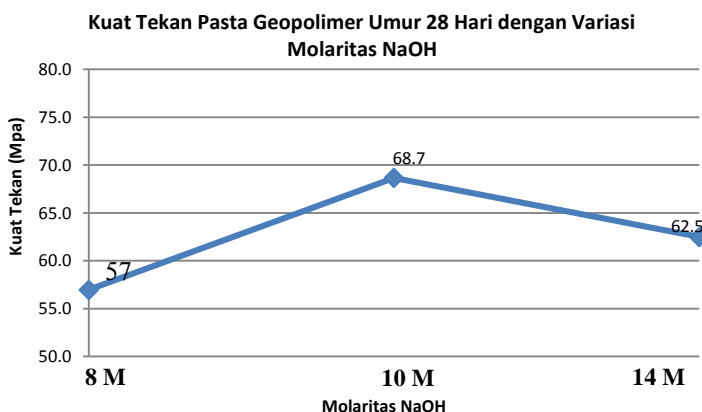
$$\begin{aligned} \sigma_9 &= \frac{P}{A} \times \frac{1}{g} \\ &= \frac{2060 \times 1}{\pi \times 9.8106} = 64.326 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{1,9} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_9}{9}$$

$$= \frac{53.085 + 51.835 + \dots + 64.326}{9}$$

$$= 57.69 \text{ MPa}$$

Cara perhitungan yang sama dapat digunakan untuk menghitung kuat tekan binder geopolimer dengan komposisi yang lainnya. Gambar 4.1 menunjukkan hasil rata-rata uji tekan umur 28 hari dari semua komposisi.



Gambar 4.1 Hasil Rata-Rata Kuat Tekan Umur 28 Hari

Dalam penelitian Hardjito dan Rangan pada tahun 2005 menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi molaritas Sodium Hidroksida menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan beton geopolimer. Tetapi secara keseluruhan dapat diamati pada Gambar 4.1 bahwa kuat tekan pasta geopolimer hanya mengalami kenaikan pada konsentrasi 10 M dan saat konsentrasi dinaikan menjadi 14 M kuat tekannya menjadi berkurang. Secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Semakin tinggi molaritas yang digunakan dalam campuran, maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan oleh masing-masing pasta. Molaritas berhubungan dengan kekakuan. Pasta yang menggunakan larutan NaOH 10M

lebih pekat jika dibandingkan dengan pasta yang menggunakan larutan NaOH 8M. Kepekatan berhubungan dengan banyaknya air yang dicampurkan dalam larutan. Semakin sedikit jumlah air yang berada dalam campuran, maka akan meningkatkan kuat tekan pasta dan semakin banyak pula massa NaOH yang ditambahkan. Kation Na^+ memberi kontribusi dalam proses kristalisasi. Jumlah kation Na^+ dan anion OH^- adalah sama, karena berasal dari senyawa yang sama, yaitu NaOH (Murayama et al, 2002). Bila kadar NaOH terlalu kecil, maka akan terjadi kekurangan OH^- dan Na^+ dalam reaksi. Akibatnya proses pemutusan ion Si^{4+} dan Al^{3+} dan kristalisasi tidak berlangsung sempurna, sehingga terdapat *fly ash* yang belum bereaksi. Oleh sebab itu, pasta yang menggunakan larutan NaOH 10M akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pasta yang menggunakan larutan NaOH 8M.

2. Terjadinya penurunan pada peningkatan molaritas 14 M terjadi karena pembuatan pasta yang semakin sulit, karena semakin tinggi konsentrasi NaOH yang dipakai maka pasta yang dihasilkan lebih pekat. Dari penelitian Oktaviani 2007 juga menyimpulkan semakin tinggi molaritas yang digunakan dalam campuran, maka semakin cepat pengikatan awal berlangsung. dan semakin tinggi molaritas yang digunakan dalam campuran, maka pengikatan akhir berlangsung relatif lebih cepat. Jadi semakin tinggi molaritasnya pasta akan cepat mengeras. Pada pembuatan benda uji 20x40mm saat pasta 14 M dituangkan kedalam cetakan silinder tidak lama setelah itu pasta akan mulai mengeras sehingga sulit untuk meratakan cetakan dan mengeluarkan udara di dalamnya. Hal itu menjadikan kuat tekan pasta 14 M rendah.

Hasil rata-rata uji tekan pasta ini akan dibandingkan dengan hasil Tes *Marshall* pada aspal beton. Apakah dengan semakin tinggi

molaritas pasta yang digunakan sebagai *filler* akan meningkatkan karakteristik aspal beton.

4.1.4. Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar pecah ukuran maksimum 1/2” diperoleh nilai seperti pada Tabel 4.9. Dari tabel itu dapat dilihat bahwa agregat kasar ukuran 1/2” yang telah diuji memiliki kualitas yang baik dan bisa digunakan pada campuran beton aspal.



Gambar 4.9 Agregat Kasar

Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

No.	Pengujian	Standar Penelitian	Hasil Penelitian	Spek.	Satuan
1	Abrasi	SNI 03-2417-1991	24.9	Maks 40	%
2	Analisis Saringan	SNI 03-1968-1990	Lamp II.B-2	-	-
3	Berat Jenis	SNI 03-1969-1990			
	a. BJ.Bulk		2.65	Min 2.5	-
	b. BJ SSD		2.677	Min 2.5	-
	c. BJ Apparent		2.725	Min 2.5	-
	Penyerapan Agregat		1.04	Maks 3	%

4.1.5. Agregat Halus

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.10. Tabel 4.10 menunjukkan bahwa agregat halus tersebut memiliki kualitas yang baik karena memenuhi semua spesifikasi teknis sehingga dapat digunakan pada campuran beton aspal. Sementara hasil pemeriksaan berat jenis *fly ash* dan geopolimer disajikan pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11



Gambar 4.10 Agregat Halus

Tabel 4.10 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No.	Pengujian	Standar Penelitian	Hasil Penelitian	Spek.	Satuan
1	Analisis Saringan	SNI 03-1968-1990	Lamp II.B-2	-	-
2	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990			
	a. BJ.Bulk		2.592	Min 2.5	-
	b. BJ SSD		2.625	Min 2.5	-
	c. BJ Apparent		2.679	Min 2.5	-
	Penyerapan Agregat		1.26	Maks 3	%

Tabel 4.11 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Fly Ash* Kelas C dan Geopolimer

No.	Pengujian	Standar Penelitian	Hasil Penelitian	Spek.	Satuan
1	Berat Jenis C	SNI 03-2460-1991	2.727	-	-
2	Berat Jenis F		2.439	-	-



Gambar 4.11 Fly Ash Kelas C dan Kelas F

No.	Pengujian	Standar Penelitian	Hasil Penelitian	Spek.	Satuan
1	Berat Jenis 8M	SNI 03-2460-1991	2.373	-	-
2	Berat Jenis 10 M		2.417	-	-
3	Berat Jenis 14 M		2.422	-	-

Pasta Geopolimer sesuai molaritas yang telah disiapkan sudah menjadi solid, untuk dijadikan filler maka perlu dihancurkan menggunakan mortar.



Gambar 4.12 Penghancuran Pasta Geopolimer

4.1.6. Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan untuk campuran beton aspal adalah aspal keras produksi Pertamina dengan Penetrasi 60/70. Dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan Fakultas Teknik Sipil ITS diperoleh data-data hasil pengujian yang memenuhi persyaratan spesifikasi campuran beton aspal, seperti yang disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

No.	Pengujian	Standar Penelitian	Hasil Penelitian	Spek.	Satuan
1	Penetrasi, 25°C; 100gr; 5 dtk; 0.1 mm	SNI 06-2456-1991	65.2	Maks 60	mm
2	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	1.036	Min 1	-
3	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI 06-2433-1991	354°C;366°C	Min 200	°C
4	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	53.5°C	48-58	°C
5	Daktalitas 25°C	SNI 06-2432-1991	120.5	Min 100	cm

4.2. Mix Desain Campuran Aspal Beton

4.2.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pemeriksaan gradasi agregat dengan metode analisa saringan mengacu pada standar PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04. Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar, medium dan halus tertera pada Tabel 4.13.

Total agregat kasar yang diuji adalah 3992.4 gram. Analisa saringan untuk agregat kasar, 100% lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan pada saringan $\frac{1}{2}$ ". Spesifikasi Binamarga untuk agregat kasar adalah yang memiliki ukuran butir lebih besar dari diameter

saringan no.4. Pada saringan no.4, banyak agregat yang lolos adalah sebanyak 1,2 % dari total agregat.

Analisa saringan agregat medium, sebaran terbanyak adalah jumlah tertahan pada saringan no.4 sebanyak 58,1 % dan pada saringan no.8 sebanyak 36,2 %. Masih ada agregat yang lolos saringan no.30 akan tetapi dengan jumlah kecil yaitu 2,92 % dari total agregat medium. Total agregat medium yang diuji adalah 2983,1 gram

Total agregat halus yang diuji adalah 1988,1 gram. Menurut spesifikasi Binamarga, agregat halus adalah yang memiliki ukuran butir lebih kecil dari diameter no.4, dan analisa saringan menunjukkan agregat halus hampir seluruhnya lolos saringan no.4 karena terdapat 0,9 % yang tertahan. Sebaran terbanyak adalah tertahan di saringan no.30 sebanyak 48,3 %.

Tabel 4.13 Pemeriksaan Gradasi Agregat
Agregat Kasar

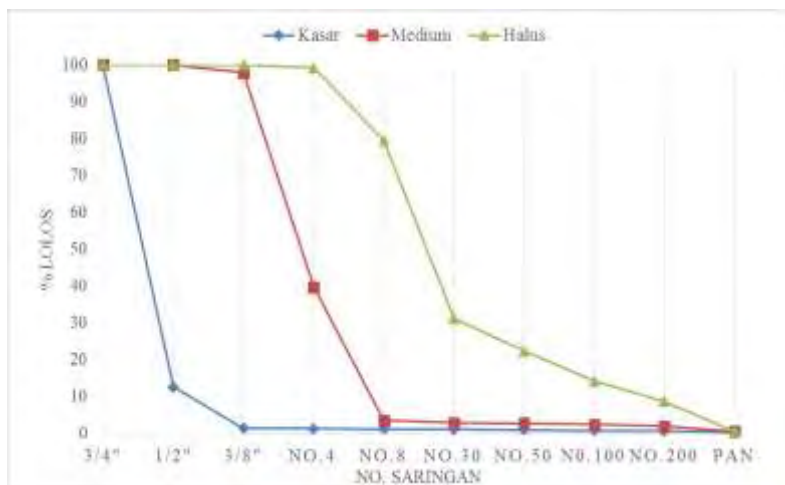
No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat Tertahan (gr)	Prosentase Jumlah Tertahan (%)	Prosentase Jumlah Lolos (%)
3/4"	19.050	-	-	-	100
1/2"	12.700	3494.4	3494.4	87.36	12.64
3/8"	9.525	446.3	3940.7	11.16	1.48
No.4	6.350	7.6	3948.3	0.19	1.29
No.8	3.175	2.9	3951.2	0.07	1.22
No.30	0.847	5.7	3956.9	0.14	1.08
No.50	0.508	2.6	3959.5	0.07	1.01
N0.100	0.254	7.2	3966.7	0.18	0.83
No.200	0.127	6.7	3973.4	0.17	0.66
Pan	-	19.0	3992.4	0.48	0.19
	Total	3992.4			

Agregat Medium

Ukuran Saringan (Inch)	Ukuran Saringan (mm)	Berat Masing Tertahan (gram)	Berat Jumlah Tertahan (gram)	Prosentase Jumlah Tertahan (%)	Prosentase Jumlah Lolos (%)
3/4"	19.050	-	-	-	100
1/2"	12.700	-	-	-	100
3/8"	9.525	64.9	64.9	2.2	97.84
No.4	6.350	1743.1	1808.0	58.1	39.73
No.8	3.175	1087.1	2895.1	36.2	3.50
No.30	0.847	17.2	2912.3	0.6	2.92
No.50	0.508	4.3	2916.6	0.1	2.78
N0.100	0.254	9.7	2926.3	0.3	2.46
No.200	0.127	12.3	2938.6	0.4	2.05
Pan	-	44.5	2983.1	1.5	0.56
	Total	2983.1			

Agregat Halus

Ukuran Saringan (Inch)	Ukuran Saringan (mm)	Berat Masing Tertahan (gram)	Berat Jumlah Tertahan (gram)	Prosentase Jumlah Tertahan (%)	Prosentase Jumlah Lolos (%)
3/4"	19.050	-	-	-	100
1/2"	12.700	-	-	-	100
3/8"	9.525	-	-	-	100
No.4	6.350	17.5	17.5	0.9	99.1
No.8	3.175	393.4	410.9	19.7	79.5
No.30	0.847	966.3	1377.2	48.3	31.1
No.50	0.508	174.4	1551.6	8.7	22.4
N0.100	0.254	164.8	1716.4	8.2	14.2
No.200	0.127	107.3	1823.7	5.4	8.8
Pan	-	164.4	1988.1	8.2	0.6
	Total	1988.1			



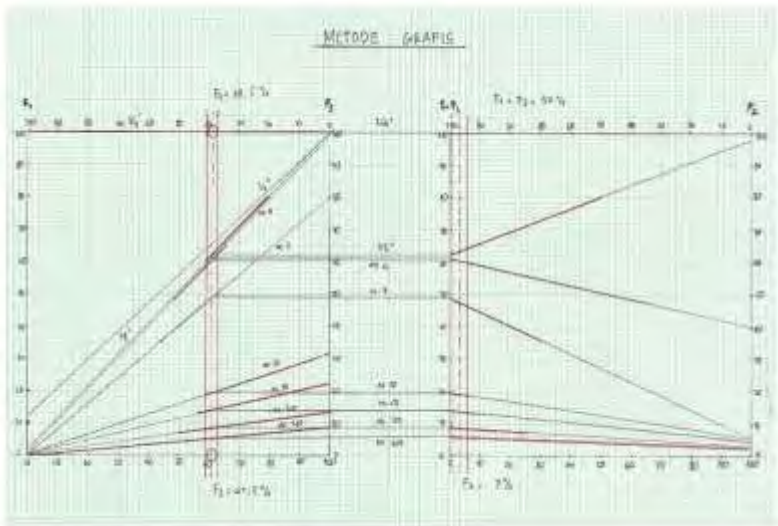
Gambar 4.13 Sebaran Gradasi Agregat

4.2.2. Proporsi Material Campuran

Setelah didapat sebaran agregat, dapat dibuat proporsi agregat menerus optimum dari agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus.

Metode yang digunakan untuk menentukan komposisi adalah metode grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.14. Dengan menggambar dua buah kotak, sisi kiri kotak merupakan persen agregat. Pada kotak pertama plot titik-titik persen lolos dari masing-masing nomor saringan untuk agregat kasar dan agregat halus. Gabungkan titik-titik dengan nomor saringan yang sama, dari garis itu akan ditentukan batas spesifikasi menurut batas maksimum dan minimum Binamarga. Tentukan batas maksimum dan minimum yang paling dekat lalu ditarik garis vertikal, lalu tarik garis lagi yang membagi dua daerah maksimum dan minimum sehingga dari garis ini dapat ditentukan persen agregat kasar dan agregat halus.

Selanjutnya tarik garis horizontal dari perpotongan garis tengah dengan batas maksimum dan minimum dari kotak pertama sebagai jumlah persentase agregat kasar yang ditambah agregat halus ke tepi kotak kedua untuk memindahkan nomor-nomor saringan. Lalu plot titik-titik persen lolos agregat medium pada tepi kotak kedua.



Gambar 4.14 Metode Grafis

Garis tengah yang didapat dari kotak pertama menunjukkan:

- Perpotongan dengan garis tepi atas = persentase F_1 sementara (agregat kasar) yaitu 38,5 %
- Perpotongan dengan garis tepi bawah = persentase F_3 sementara (agregat halus) yaitu 61,5%

Garis tengah yang didapat dari kotak kedua menunjukkan:

- Perpotongan dengan garis tepi atas = persentase $F_1 + F_3$ yaitu 97%

- Perpotongan dengan garis tepi bawah = persentase F2 (agregat medium) yaitu 3%

Setelah itu untuk mencari persentase F1 dan F3, persentase sementara F1 dan F3 dikalikan dengan persentase F1 + F3. Jadi persentase agregat yang didapat adalah :

- $F1 = 38,5 \% \times 97 \% = 37,35 \% \sim 37 \%$
- $F3 = 61,5 \% \times 97 \% = 59,65 \% \sim 60 \%$
- $F2 = 3\%$

Tabel 4.14 Gradasi Gabungan

Ukuran Saringan	Proporsi Agregat (%)			Total Campuran	Spesifikasi	Spek Tengah	Keterangan
	F1 = 37%	F2 = 3%	F3 = 60%				
1"	37	3	60	100	100	100	OK
3/4"	37.00	3.00	60.00	100.00	80-100	90	OK
1/2"	4.68	3.00	60.00	67.68	-	-	OK
3/8"	0.55	2.94	60.00	63.48	60-80	70	OK
No.4	0.48	1.19	59.48	61.14	48-65	56.5	OK
No.8	0.45	0.10	47.67	48.23	35-50	42.5	OK
No.30	0.40	0.09	18.68	19.17	19-30	24.5	OK
No.50	0.37	0.08	13.45	13.91	13-23	18	OK
No.100	0.31	0.07	8.51	8.89	7-15.	11	OK
No.200	0.25	0.06	5.29	5.60	1-8.	4.5	OK



Gambar 4.15 Gradasi Campuran Aspal

Dari Gambar 4.15 terlihat gradasi campuran untuk saringan $\frac{3}{4}$ ", no.4, dan no.8 mendekati nilai maksimum. Sementara saringan $\frac{3}{8}$ ", no.30, no.50, dan no.100 mendekati nilai minimum, namun semua masih dalam batas spesifikasi.

Proporsi agregat ini selanjutnya digunakan untuk menghitung berat material campuran aspal yaitu berat aspal, berat agregat kasar, dan berat agregat halus. Berat 1 buah sampel total adalah 1200 gram. Kadar aspal yang dipakai merupakan kadar aspal perkiraan yang dicari dengan menggunakan rumus pada bab 3. Kadar aspal perkiraan yang didapat adalah 4,2%, 4,7%, 5,2%, 5,5% dan 6,2%. Dari kadar aspal terhadap berat sampel didapatkan berat aspal dan berat sisa sampel untuk agregat. Proporsi agregat yang telah didapatkan yaitu agregat kasar 37%, agregat medium 3%, dan agregat halus 60% terhadap berat sisa sampel untuk mendapatkan berat masing-masing agregat terhadap setiap kadar aspal. Perhitungan berat material campuran tertera pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Berat Material Campuran

Berat Sample	gram	1200	1200	1200	1200	1200	
Kadar Aspal :	%	4.2	4.7	5.2	5.7	6.2	
Berat Aspal :	gram	50.4	56.4	62.4	68.4	74.4	
Berat agregat :	gram	1149.6	1143.6	1137.6	1131.6	1125.6	
Saringan							
Lolos	Tertahan	%	I	II	III	IV	V
1"	3/4"	-	-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	32.324	371.6	369.7	367.7	365.8	363.8
1/2"	3/8"	4.193	48.2	48.0	47.7	47.4	47.2
3/8"	No.4	2.338	26.9	26.7	26.6	26.5	26.3
No.4	No.8	12.916	148.5	147.7	146.9	146.2	145.4
No.8	No.30	29.059	334.1	332.3	330.6	328.8	327.1
No.30	No.50	5.260	60.5	60.2	59.8	59.5	59.2
No.50	No.100	5.020	57.7	57.4	57.1	56.8	56.5
No.100	No.200	3.293	37.9	37.7	37.5	37.3	37.1
Filler / Pan		5.596	64.3	64.0	63.7	63.3	63.0

Komposisi gradasi pada Tabel 4.15 digunakan untuk membuat benda uji dan akan dicari berapa kadar aspal optimumnya. Persentase *filler* untuk campuran aspal beton yang didapat adalah 5,596%. Persentase ini akan digunakan terus untuk membuat campuran aspal beton dengan bahan *filler fly ash* biasa dan geopolimer.



Gambar 4.16 Sample Untuk Setiap Kadar Aspal Perkiraan

4.3. Kadar Aspal Optimum Dari Tes Marshall

Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian sifat campuran dengan uji Marshall. Pengujian serta pembahasan karakteristik campuran yang di peroleh dari pengujian awal ini dibahas secara eksplisit dalam penelitian ini. Data hasil tes Marshall dipakai hanya untuk menentukan kadar aspal optimum yang selanjutnya dibuat benda uji dengan bahan filler yang berbeda.

Pada perancangan benda uji pada Tabel 3.1 tertera jumlah benda uji untuk setiap jenis kadar aspal yaitu 2 sampel. Jadi terdapat 10 sampel untuk pengujian Marshall awal dengan kadar aspal perkiraan. Tahap selanjutnya adalah memasak benda uji untuk dicetak di dalam briket setelah itu akan di tes dengan alat Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan flow nya. Sebelumnya benda uji diukur diameter dan tingginya, lalu benda uji direndam dalam air selama 24 jam untuk mendapatkan berat dalam air dan berat jenuhnya. Pada Tabel 4.16 tertera data dari Tes Marshall yang dilakukan. Data dari Tabel 4.16 selanjutnya akan dipakai untuk menghitung rongga terisi aspal, rongga dalam campuran, density, flow dan stabilitas yang sudah dikalikan faktor koreksi dan kalibrasi proving ring pada alat Marshall. Hasil dari perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran II-C.



Gambar 4.17 Sample Agregat Dipanaskan



Gambar 4.18 Pencampuran Aspal



Gambar 4.19 Campuran Aspal Dicetak dan Ditumbuk 2x75



Gambar 4.20 Pengukuran Berat Kering, Tinggi, dan Diameter Briket Campuran



Gambar 4.21 Briket Direndam 24 jam Sebelum Pengujian



Gambar 4.22 Penimbangan Berat Jenuh Air Briket Setelah Perendaman 24 jam



Gambar 4.22 Briket Direndam 30 menit Dalam Air Panas Sebelum Tes Marshall



Gambar 4.23 Pelaksanaan Tes Marshall

Tabel 4.16 Data Marshall Test

NOMOR	DIAMETER	TINGGI	BERAT KERING	BERAT JENUH	BERAT DALAM	MARSHALL	
BENDA UJI	(cm)	(cm)	(BK)	(SSD)	AIR (BA)	STABILITAS	FLOW
1	10.1	6.6	1178.5	1192.2	673	360	1.8
2	10.1	6.5	1184.2	1194.3	691	310	1
3	10.1	6.4	1183.3	1193.4	694	300	3
4	10.1	6.3	1173.3	1182.8	689	380	1.1
5	10.1	6.5	1172.4	1183.7	682	390	2
6	10.1	6.5	1170.1	1180.2	682	390	2
7	10.1	6.4	1170.9	1178.6	683	360	2.6
8	10.1	6.2	1162.8	1169	690	340	2.1
9	10.1	6.2	1170.6	1174.2	691	280	2
10	10.1	6.2	1167	1171.5	691	260	3

Kadar aspal optimum ditentukan dari campuran yang masuk spesifikasi untuk rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM), stabilitas, kelelahan (Flow), serta density. Tiap campuran dengan kadar aspal perkiraan harus memenuhi spesifikasi Tes Marshall seperti pada Tabel 2.5. Tabel 4.17 menunjukkan perhitungan selanjutnya dalam Marshall Test untuk mendapatkan nilai karakteristik yang dicari. Setelah itu hasil yang didapat dirata-rata untuk mendapat hasil dari satu kadar aspal.

Tabel 4.17 Marshall Test

% Aspal	No.	A	b	C	d	E	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	P	Q	r	Empai Karahai
4.200	I ₁	4.184	4.2	1178.5	1192.2	679	599.2	2.27	2.49	9.20	81.90	8.90	16.10	50.85	8.90	300	1179.95	2046.65	1.8	0.95
	I ₂	4.184	4.2	1184.2	1184.3	681	593.3	2.35	2.49	9.54	84.90	5.95	15.10	62.16	5.95	310	1015.56	944.47	1	0.95
	II ₁	4.952	4.7	1183.5	1193.4	684	686.4	2.57	2.47	10.75	85.06	4.20	14.95	71.90	4.20	300	962.80	943.49	3	0.95
4.700	II ₂	4.952	4.7	1175.5	1182.8	689	495.8	2.38	2.47	10.78	85.29	3.95	14.71	75.27	3.95	300	1246.88	1244.88	1.1	1
	III ₁	5.485	5.2	1172.4	1183.7	682	501.7	2.34	2.46	11.75	83.44	4.85	16.56	70.83	4.85	300	1277.64	1188.21	2	0.95
	III ₂	5.485	5.2	1170.1	1180.2	682	488.2	2.35	2.46	11.79	83.66	4.35	16.14	73.05	4.35	300	1277.64	1188.21	2	0.95
5.700	IV ₁	6.045	5.7	1170.9	1178.6	683	495.6	2.36	2.44	11.00	83.91	3.99	16.09	80.81	3.09	300	1179.95	1158.39	2.6	0.96
	IV ₂	6.045	5.7	1166.8	1169.0	680	479.0	2.43	2.44	11.36	86.22	0.42	13.78	96.94	0.42	340	1115.94	1158.39	2.1	1.04
6.200	V ₁	6.610	6.1	1170.6	1174.2	681	483.2	2.42	2.42	14.48	84.50	0.42	14.50	99.66	0.42	280	917.28	953.97	2	1.04
	V ₂	6.610	6.2	1167.0	1171.5	681	480.5	2.42	2.42	14.48	85.50	0.42	14.50	99.66	0.42	280	851.76	883.83	3	1.04

Keterangan perhitungan tabel Marshall Test :

a = % aspal terhadap batuan

b = % aspal terhadap campuran

c = berat kering (gram)

d = berat SSD (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = volume = d - e (gram)

g = berat isi benda uji = $\frac{c}{f}$

h = berat maksimum (teoritis), $h = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{\text{BJ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}}$

i = vol % total aspal = $\frac{b \times g}{\text{BJ aspal}}$

j = vol % total agregat = $\frac{(100 - b)g}{\text{BJ agregat}}$

k = jumlah kandungan rongga = $100 - i - j$

l = prosen rongga terhadap agregat = $100 - j$

m = prosen rongga terhadap aspal = $\frac{i}{l} \times 100\%$

n = prosen rongga terhadap campuran = $100 - \frac{100}{h} g$

o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas x kalibrasi = o x 8.1 (lbs) (Dari Lab)

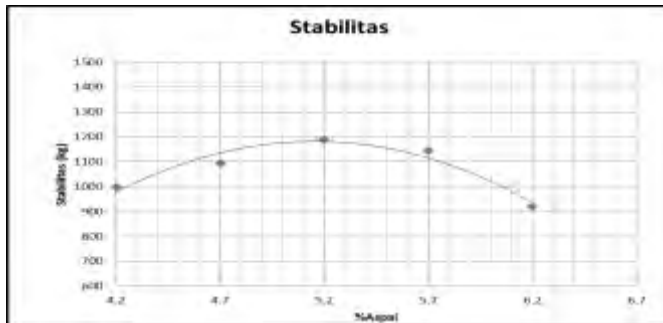
q = p x 0.45 x angka koreksi volume (koreksi volume berdasarkan isi benda uji)

r = hasil pembacaan flow

Tabel 4.18 Hasil Rata-Rata Marshall Test

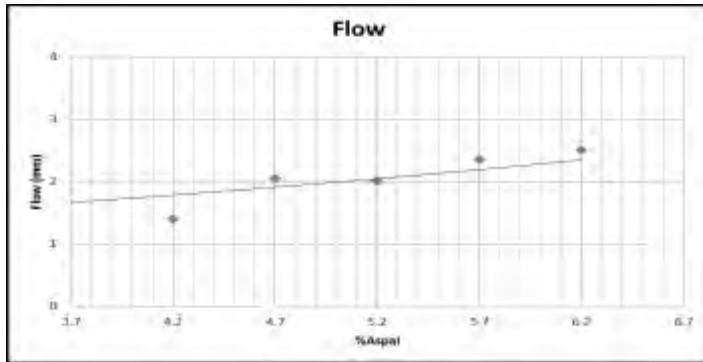
% Aspal	g	m	n	q	r
4.2	2.31	57	7	997	1.4
4.7	2.37	73	4	1094	2.05
5.2	2.34	72	5	1188	2
5.7	2.40	89	2	1145	2.35
6.2	2.42	100	0	920	2.5

Setelah didapat nilai karakteristik dari tiap benda uji dengan kadar aspal berbeda, maka ditentukan batas minimum dan minimum sesuai dengan spesifikasi yang ada. Hasil itu diplotkan pada grafik dan dilihat kadar aspal mana yang masuk dalam spesifikasi minimum dan maksimumnya seperti pada Gambar 4.24 – 4.28. Dari Gambar 4.29 didapat persentase kadar aspal optimumnya adalah 5,3%.



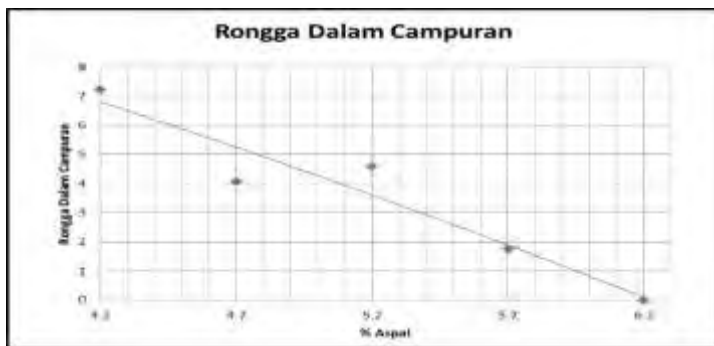
Gambar 4.24 Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Dari Gambar 4.24 dapat dilihat semakin tinggi kadar aspal menaikkan stabilitas, tetapi sampai kadar aspal paling banyak, stabilitasnya menurun. Hal ini dikarenakan semakin banyak kadar aspal maka agregat pada campuran akan lebih interlocking, namun bila kadar aspal berlebih maka campuran akan kehilangan sifat interlockingnya. Semua nilai stabilitas tiap kadar aspal perkiraan telah memenuhi syarat spesifikasi minimum seperti pada Tabel 2.5



Gambar 4.25 Hubungan Kadar Aspal dan Flow

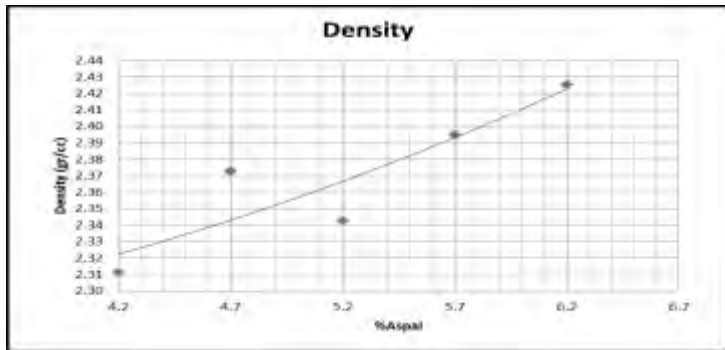
Dari Gambar 4.25 dapat dilihat semakin tinggi kadar aspal maka nilai flownya juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan semakin tinggi kadar aspal maka campuran akan semakin sulit menyerap air sehingga campuran akan lebih fleksibel. Kadar aspal perkiraan yang dipakai semuanya masuk dalam syarat spesifikasi minimum seperti pada Tabel 2.5



Gambar 4.26 Hubungan Kadar Aspal dan Rongga Dalam Campuran

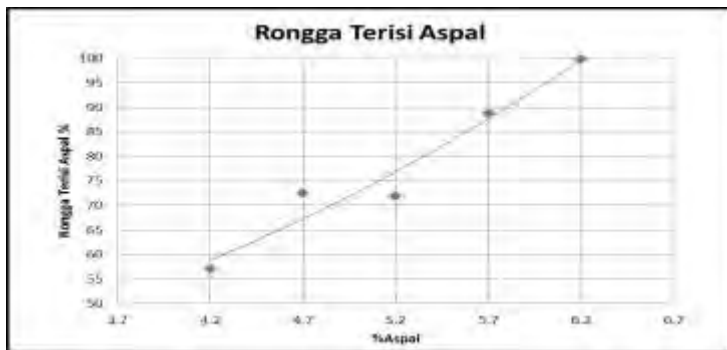
Dari Gambar 4.26 dapat dilihat semakin tinggi kadar aspal maka semakin kecil nilai rongga dalam campurannya. Hal ini disebabkan karena semakin banyak aspal dalam campuran

maka semakin banyak juga rongga yang terisi oleh aspal. Kadar aspal perkiraan yang memenuhi syarat spesifikasi minimum seperti pada Tabel 2.5 adalah kadar aspal 4.8 % - 5,4 %



Gambar 4.27 Hubungan Kadar Aspal dan Density

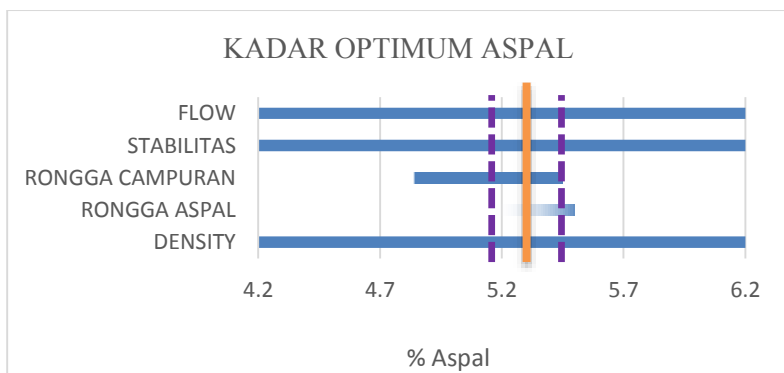
Dari Gambar 4.27 dapat dilihat semakin tinggi kadar aspal semakin tinggi pula nilai densitynya. Hal ini disebabkan semakin banyak kadar aspal yang dipakai maka campuran akan semakin padat karena aspal bekerja sebagai bitumen untuk menyatukan agregat dan mengisi rongga antar agregat. Kelima kadar aspal perkiraan masuk dalam spesifikasi minimum seperti pada Tabel 2.5.



Gambar 4.28 Hubungan Kadar Aspal dan Rongga Terisi Aspal

Dari Gambar 4.28 dapat dilihat semakin tinggi kadar aspal yang digunakan akan semakin tinggi rongga terisi aspalnya. Hal ini disebabkan karena aspal akan mengisi rongga-rongga dalam campuran seperti rongga antar agregat dan rongga udara. Terdapat syarat minimum untuk rongga terisi aspal, dari kadar aspal perkiraan yang dipakai, kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah kadar aspal dari 5,2 – 5,5 %. Syarat spesifikasi minimum dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Titik biru pada Gambar 4.24 – 4.28 merupakan nilai karakteristik rata-rata dari dua benda uji sesuai dengan kadar aspal masing-masing. Garis putus-putus merupakan batasan maksimum dan minimum dari suatu nilai karakteristik menurut aturan spesifikasi pada Tabel 2.5. Sedangkan garis tebal hitam menunjukkan kadar aspal yang memenuhi aturan spesifikasi. Dari garis hitam yang didapat dari setiap grafik disatukan dalam suatu grafik lalu ditentukan jarak terdekat antara suatu batas minimum nilai karakteristik dengan nilai maksimum suatu nilai karakteristik. Setelah itu ditarik garis tengah dari kedua batas tersebut sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum yang memenuhi semua kriteria karakteristik campuran. Hasil pencarian kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.4. Mix Desain Campuran Kadar Aspal Optimum

Setelah kadar aspal optimum didapat, dicari lagi komposisi berat material campurannya. Tabel 4.15 tertera berat masing-masing material dengan kadar aspal optimum. Persentase *filler* (lolos no.200) adalah 5,596% persentase ini akan dipakai terus untuk campuran aspal beton dengan berbagai *filler*.

Tabel 4.19 Berat Material Campuran dengan Kadar Aspal Optimum

Berat Sample	gram	1200
Kadar Aspal :	%	5.3
Berat Aspal :	gram	63.6
Berat agregat :	gram	1136.4

Saringan		%	I
Lolos	Tertahan		
1"	3/4"	-	-
3/4"	1/2"	32.324	367.3
1/2"	3/8"	4.193	47.7
3/8"	No.4	2.338	26.6
No.4	No.8	12.916	146.8
No.8	No.30	29.059	330.2
No.30	No.50	5.260	59.8
No.50	No.100	5.020	57.1
No.100	No.200	3.293	37.4
Filler / Pan		5.596	63.6

Dengan komposisi ini akan dibuat benda uji dengan variasi *filler* yaitu: abu batu biasa yang sama seperti pembuatan benda uji awal, *fly ash* biasa tanpa adanya polimerisasi, dan geopolimer dengan variasi molaritas. Setelah itu akan dilakukan kembali Tes Marshall untuk mengetahui karakteristik campuran aspal dengan berbagai variasi *filler*.

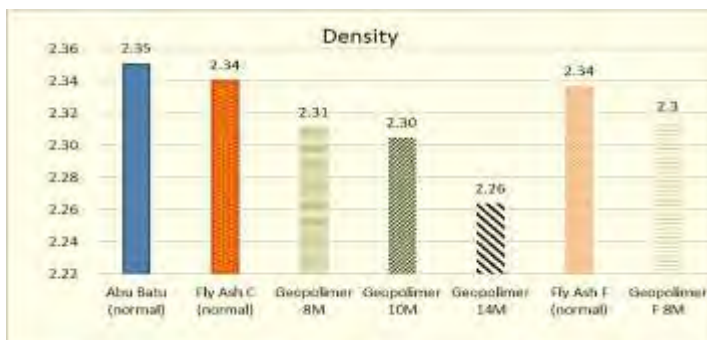
4.5. Hubungan Antarar Variasi Filler dengan Karakteristik Campuran Aspal Beton

Tes Marshall yang dilakukan akan mengetahui nilai stabilitas dan flow dari benda uji. Selain itu berat kering, berat jenuh, dan berat dalam air juga dihitung untuk mengetahui rongga terisi aspal maupun rongga dalam campuran. Untuk perhitungan lengkapnya tertera di lampiran II.

Berikut ini adalah analisis berdasarkan nilai karakteristik yang didapat:

- Kepadatan (*Density*)

Untuk melihat hubungan antara nilai density dengan variasi macam *filler* dapat terlihat pada Gambar 4.30. Dari Gambar 4.30 terlihat kecenderungan kepadatan mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan dengan penggantian menggunakan fly ash kelas C dan geopolimer menurunkan nilai kepadatan suatu campuran aspal beton. Hal utama yang menyebabkan kepadatan menjadi rendah ialah kandungan mineral halus. Fly ash kelas C dan geopolimer membuat kerapatan antar agregat dan bitumen berkurang dan menyebabkan interlocking dari partikel agregat dengan aspal berkurang. Semua golongan memenuhi spesifikasi yang ditentukan.



Gambar 4.30 Kepadatan Campuran Aspal Dengan Berbagai *Filler*

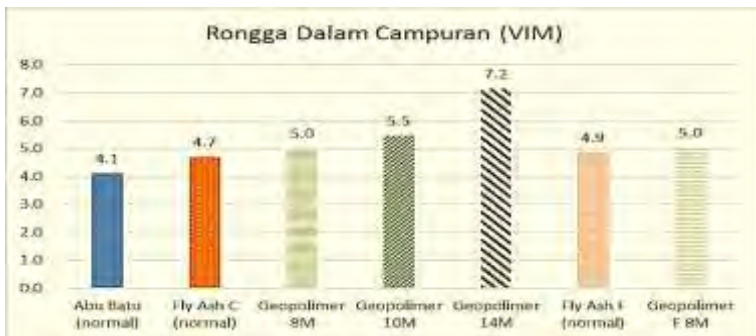
Nilai kepadatan paling tinggi terdapat di campuran aspal yang menggunakan filler abu batu biasa. Penggantian fly ash kelas C dan geopolimer menurunkan nilai kepadatan.

Dari variasi molaritas filler geopolimer semakin tinggi molaritasnya semakin tinggi kepadatannya kecuali pada 14 M. Hasil ini berbanding lurus dengan hasil uji tekan pasta geopolimer.

- Rongga Dalam Campuran (VIM)

Void In Mixture (VIM) merupakan prosentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. Nilai VIM menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal beton. Hasil pemeriksaan VIM campuran aspal beton disajikan di Gambar 4.31.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pengganti menggunakan *fly ash* normal tipe C dan menggunakan geopolimer menambah rongga udara dalam campuran. Hal ini disebabkan rongga yang terisi oleh *filler* berkurang. Mungkin karena kadar kapur yang tinggi dalam fly ash tipe C. Walaupun VIM nya bertambah semua benda uji memenuhi spesifikasi kecuali benda uji dengan *filler* 14 M.



Gambar 4.31 Hubungan VIM dengan Variasi Filler

- Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (rutting), maupun mengalami bleeding. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, sifat saling mengunci (interlocking) dari partikel agregat, bentuk, dan tekstur permukaan serta gradasi agregat.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas yang diperoleh cenderung mengalami kenaikan. Stabilitas paling tinggi dimiliki oleh campuran aspal beton dengan filler 8 M. Penggantian fly ash kelas C dan geopolimer dari campuran aspal beton biasa yang menggunakan abu batu menghasilkan peningkatan nilai stabilitas campuran.

Untuk variasi molaritas tidak berbanding lurus dengan hasil uji tekan 28 hari. Semakin tinggi molaritas yang digunakan nilai stabilitasnya cenderung menurun. Berarti molaritasnya berpengaruh ke aspalnya.



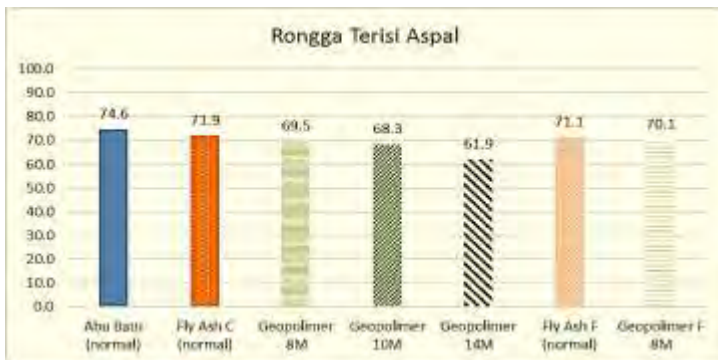
Gambar 4.32 Hubungan Stabilitas dengan Variasi Filler

- Rongga Terisi Aspal (VFB)

Void Filled with Bitumen (VFB) adalah rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses

pemadatan. Factor-faktor yang dapat mempengaruhi VFB antara lain kadar aspal, gradasi agregat, dan pemanasan aspal.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung menurun walaupun tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena filler yang ada kurang menyerap aspal sehingga aspal kurang maksimal mengisi rongga yang ada. Tetapi semua campuran aspal beton memenuhi spesifikasi kecuali campuran aspal beton dengan filler geopolimer 14 M. Mungkin molaritas semakin tinggi kurang baik dengan temperature yang panas



Gambar 4.33 Hubungan VFB dengan Variasi Filler

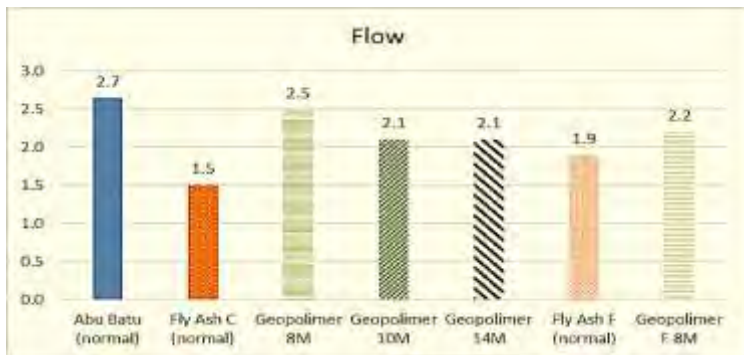
- Kelelahan (Flow)

Kelelahan merupakan implementasi dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Nilai flow dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat dan temperature pemadatan.

Dari hasil pengujian menunjukkan nilai kelelahan (flow) semakin menurun dari campuran yang menggunakan abu batu biasa. Tetapi penggunaan filler geopolimer menaikan nilai kelelahan dari campuran aspal beton yang menggunakan filler fly ash kelas C biasa.

Campuran aspal menggunakan filler fly ash kelas C biasa mempunyai nilai kelelehan paling rendah dan tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Hal ini menyebabkan campuran aspalnya menjadi terlalu rapat sehingga deformasi akibat beban berkurang.

Walaupun berkurang nilai kelelehannya dari campuran yang menggunakan filler abu batu biasa, dapat diambil kesimpulan penggunaan filler geopolimer meningkatkan sifat fleksibilitas dari campuran karena campuran aspal yang menggunakan fly ash kelas C nilai kelelehannya tidak memenuhi spesifikasi.



Gambar 4.34 Hubungan Flow dengan Variasi Filler

4.6. Ringkasan

Dari hasil penelitian dapat dilakukan analisis dengan melihat artikel-artikel dan penelitian yang sudah ada. Dibuat kesimpulan seperti berikut:

1. Karakteristik Material:

Agregat yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga :

- Agregat kasar:
 - o Abrasi = 24,9% (Maksimal 40%)
 - o Berat Jenis:

- Bj.Bulk = 2,65 (Minimal 2,5)
 - Bj.SSD = 2,677 (Minimal 2,5)
 - Bj.Apparent = 2,725 (Minimal 2,5)
 - Penyerapan agregat = 1,04 % (Maksimal 3%)
 - Agregat halus:
 - Berat Jenis:
 - Bj.Bulk = 2,592 (Minimal 2,5)
 - Bj.SSD = 2,625 (Minimal 2,5)
 - Bj.Apparent = 2,679 (Minimal 2,5)
 - Penyerapan agregat = 1,26% (Maksimal 3%)
 - Filler:
 - Berat Jenis:
 - Fly Ash kelas C = 2,727
 - Fly Ash kelas F =
 - Geopolimer 8M = 2,3703
 - Geopolimer 10M =
 - Geopolimer 14M =
 - Aspal:
 - Penetrasi = 65,2 mm (Maksimal 60 mm)
 - Berat jenis = 1,036 (Minimal 1)
 - Titik nyala = 354°C (Minimal 200°C)
 - Titik Bakar = 366°C (Minimal 200°C)
 - Titik Lembek = 53,5°C (48-58°C)
 - Daktilitas = 120,5 cm (Minimal 100 cm)
 - Kadar aspal optimum yang didapat = 5,3%
2. Mix desain yang digunakan adalah spesifikasi Bina Marga V :
- Dari Tabel 4.18 dengan spesifikasi Bina Marga V mix desain sudah mencukupi spesifikasi yang ditentukan. Dari spesifikasi tersebut didapat komposisi material seperti tertera pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Mix Desain Campuran

Ukuran Saringan	Proporsi Agregat (%)			Total Campuran	Spesifikasi
	F1 = 37%	F2 = 3%	F3 = 60%		
1"	37	3	60	100	100
3/4"	37.00	3.00	60.00	100.00	80-100
1/2"	4.68	3.00	60.00	67.68	-
3/8"	0.55	2.94	60.00	63.48	60-80
No.4	0.48	1.19	59.48	61.14	48-65
No.8	0.45	0.10	47.67	48.23	35-50
No.30	0.40	0.09	18.68	19.17	19-30
No.50	0.37	0.08	13.45	13.91	13-23
No.100	0.31	0.07	8.51	8.89	7-15.
No.200	0.25	0.06	5.29	5.60	1-8.

3. Nilai Karakteristik yang diperoleh dari variasi campuran : Pada Tabel 4.21 disajikan data dari seluruh variasi campuran. Filler abu batu merupakan acuan untuk melihat naik turunnya karakteristik dari campuran lainnya. Hasil dari nilai karakteristik ini juga berdasarkan pemakaian kadar aspal optimum yang sudah dicari yaitu 5,3 % terhadap semua benda uji. Dari hasil yang didapat dapat diambil analisis seperti berikut:

Tabel 4.21 Perbandingan Nilai Karakteristik dengan Variasi *Filler*

Filler	Density	Rongga Terisi Aspal (VFB)	Rongga Dalam Campuran (VIM)	Stabilitas	Flow
Abu Batu (normal)	2.35	74.6	4.1	1035.87	2.7
<i>Fly Ash C</i> (normal)	2.34	71.9	4.7	1146.60	1.5
Geopolimer 8M	2.31	69.5	5.0	1218.67	2.5
Geopolimer 10M	2.30	68.3	5.5	1163.64	2.1
Geopolimer 14M	2.26	61.9	7.2	1132.19	2.1
<i>Fly Ash F</i> (normal)	2.34	71.1	4.9	1037.84	1.9
Geopolimer F 8M	2.3	70.1	5.0	1107.94	2.2

- a. Untuk penggunaan *fly ash*, *fly ash* kelas C lebih baik digunakan karena dalam penelitian ini, benda uji yang menggunakan *fly ash* normal kelas C lebih baik karakteristiknya dari *fly ash* kelas F. alasannya:
- VFB benda uji dengan *fly ash* kelas C lebih tinggi dibanding kelas F. Jadi rongga dalam campuran yang dihasilkan oleh *fly ash* kelas C lebih sedikit dibanding kelas F.
 - *Fly Ash* kelas C berarti lebih baik dalam menyerap aspal sehingga mengisi rongga lebih banyak.
 - *Fly Ash* kelas C kadar kapurnya lebih besar dibanding dengan kelas F. *Fly ash* kelas F merupakan pozzolan jadi sifat *cementious* nya sangat kecil karena kadar kapur yang sedikit. *Fly ash* kelas C mempunyai kadar

- kapur (CaO) yang lebih tinggi jadi terdapat sifat mengikat dirinya sendiri.
- Kehalusan dari *fly ash* kelas C dan Kelas F juga harus dibandingkan. Karena bila *fly ash* kelas C lebih halus dibanding kelas F dan abu batu biasa, sudah sewajarnya stabilitas akan naik karena lebih banyak mengisi permukaan dan rongga dalam campuran. Untuk mencari kehalusan dari dua jenis fly ash, sudah dilakukan tes kehalusan dengan menyaring 100 gram setiap fly ash lalu disaring dengan saringan ukuran 325 dengan waktu yang sama yaitu 15 menit. Hasil yang diperoleh berbanding lurus dengan premis yang dibuat karena berat lolos saringan no.325 dari fly ash C lebih banyak dibanding kelas F. Hasil dari penelitian kehalusan dapat dilihat pada Tabel 4.22.



Gambar 4.35 Tes Kehalusan Fly Ash

Tabel 4.22 Hasil Tes Kehalusan *Fly Ash*

No. Saringan	Fly Ash	Berat Tertahan (gr)	Berat Lolos (gr)
No.325	Kelas C	16.7	83.3
No.325	Kelas F	28.1	71.9

- b. Untuk penggunaan Geopolimer terdapat nilai positif dan negatifnya.
- Penggunaan geopolimer menurunkan rongga terisi aspal (VFB). Berarti polimerisasi merubah fisik fly ash sehingga mengurangi sifat menyerap aspal seperti fly ash normal. Hal ini disebabkan karena fly ash sudah tersolidifikasi jadi tidak berbentuk debu lagi melainkan menjadi benda padat / keramik sehingga daya menyerapnya pun berkurang.
 - Dengan menurunnya VFB maka rongga dalam campuran (VIM) yang didapat akan semakin besar, rongga yang semakin banyak akan membuat durabilitas aspal beton berkurang. Hanya geopolimer 8M yang masih masuk spesifikasi nilai VIM (3-5) walaupun nilainya sudah dalam batas maksimum.
 - Penggunaan geopolimer menaikkan nilai stabilitas. Penggunaan fly ash biasa sudah menaikkan stabilitas dari benda uji, tapi dengan menggunakan geopolimer akan lebih menaikkan nilai stabilitasnya. Hal ini disebabkan karena solidifikasi. Fly ash sudah bukan berbentuk abu lagi melainkan sudah solid walaupun ukurannya lolos saringan No.200.
 - Penggunaan geopolimer juga meningkatkan flow (kelelehan). Penggunaan fly ash kelas C dan F biasa belum memenuhi spesifikasi minum dari aspal beton yaitu 2. Tetapi dengan menggunakan geopolimer nilai flownya naik dan masuk dalam spesifikasi. Nilai flow yang diperoleh dari geopolimer masih lebih rendah

- dibanding dengan filler abu batu biasa. Dengan adanya solidifikasi menyebabkan penyerapan air pun berkurang sehingga flow campuran aspal naik dan memenuhi spesifikasi minimum. Flow paling tinggi didapat dari geopolimer 8M.
- Jadi direkomendasikan untuk menggunakan geopolimer 8M sebagai filler dalam campuran aspal beton. Tetapi untuk pemilihan molaritas tidak perlu terlalu tinggi, selain semakin sulit membuatnya telah di dapat hasil kurang baik seperti menurunkan stabilitas, flow, dan penyerapan aspal.
4. Korelasi kuat tekan pasta geopolimer dengan nilai stabilitas campuran:
- Dari Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa penggunaan molaritas yang semakin tinggi menaikkan kuat tekan, kecuali pasta 14 M yang telah dijelaskan karena dampak workability yang buruk. Kenaikan molaritas ini tidak berbanding lurus dengan peningkatan stabilitas. Stabilitas yang paling baik didapat dari geopolimer 8M. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi molaritas maka semakin banyak NaOH yang tidak bereaksi menjadi garam. Bisa dilihat pada Gambar 4.36 dibawah menunjukkan bahwa 14 M lebih banyak menghasilkan garam disbanding 10 M.

Tabel 4.23 Perbandingan kuat tekan geopolimer dengan stabilitas.

Filler	Kuat Tekan Pasta (MPa)	Stabilitas
Geopolimer 8M	57	1218.67
Geopolimer 10M	68.7	1163.64
Geopolimer 14M	62.5	1132.19



Gambar 4.36 Garam hasil sisa reaksi polimerisasi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan geopolimer sebagai *filler* dalam campuran aspal beton bisa dijadikan alternatif material karena meningkatkan stabilitas dari campuran. Walaupun terdapat karakteristik yang menurun, nilainya tetap masuk dari spesifikasi minimum. Untuk campuran tanpa menggunakan geopolimer stabilitasnya lebih rendah dibanding campuran geopolimer walaupun pemakaian *fly ash*, kelas C dan F sudah menaikkan stabilitas dibanding *filler* abu batu tetapi pemakaian *fly ash* saja belum mencukupi spesifikasi minimum untuk *flow*. sama-sama bisa digunakan, tetapi lebih baik digunakan kelas C karena kelas C lebih halus dibanding kelas F.
2. Mix desain yang digunakan adalah mix desain yang menggunakan kadar aspal optimum dengan mengganti persentase seluruhnya dari filler yang didapat.
3. Stabilitas pada campuran yang menggunakan geopolimer lebih tinggi dibanding campuran tanpa geopolimer seperti hanya menggunakan abu batu atau *fly ash* normal. Untuk nilai *flow*, rongga dalam campuran dan rongga terisi aspal penggunaan geopolimer menurunkan nilainya tetapi masih masuk dalam spesifikasi minimum campuran
4. Tidak perlu menggunakan molaritas yang tinggi, karena semakin tinggi molaritas tidak menunjukkan kenaikan stabilitas yang sejalan dengan kuat tekan pasta geopolimer, selain itu semakin tinggi molaritas yang digunakan *workability* nya pun semakin sulit sehingga menyebabkan pembentukan rongga dalam pasta geopolimer. Molaritas 8 M sudah mencukupi kriteria.

5.2. Saran

Di bawah ini adalah beberapa saran untuk memperbaiki penelitian sehingga didapat hasil yang lebih maksimal.

1. *Filler* geopolimer dicampur dengan *filler* lain. Jadi tidak langsung menggantikan 100% dari seluruh *filler*. Hal ini untuk lebih teliti melihat naik turunnya nilai karakteristik dalam campuran aspal beton.
2. Perlu diadakan penelitian selanjutnya untuk melihat perubahan suhu dalam penggunaan geopolimer, karena perubahan suhu sangat berpengaruh dalam pencampuran dan pepadatan campuran aspal beton. Selain itu juga perlu dilakukan SEM untuk melihat apakah terdapat perbedaan pada campuran yang menggunakan geopolimer dengan campuran yang tidak menggunakan geopolimer sehingga bisa di analisis lebih lanjut.

LAMPIRAN

Lampiran I. Tata Cara Pelaksanaan Mix Desain Geopolimer

A. Mix Desain Geopolimer

A.1 Penyiapan Alkali Aktivator

Adapun jenis aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida ($NaOH$). Kedua jenis aktivator ini bisa didapatkan secara bebas di toko – toko yang menjual bahan – bahan kimia. Sodium silikat (Na_2SiO_3) yang dijual di pasaran berbentuk gel, sedangkan sodium hidroksida ($NaOH$) berbentuk padatan (serbuk). Sodium hidroksida tersebut terlebih dahulu harus dilarutkan dengan air sehingga menjadi larutan $NaOH$. Larutan Sodium Hidroksida ($NaOH$) yang digunakan adalah Larutan $NaOH$ 8M, 10M dan 14M. Setidaknya sehari sebelum digunakan, seluruh larutan aktivator sudah disiapkan.

Rumus yang digunakan untuk membuat larutan NaOH 8M, 10 M dan 14M adalah sebagai berikut

$$n = V \times M$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut (mol)

M = kemolaran larutan ($\frac{mol}{liter}$)

V = volume larutan (liter)

Massa NaOH = n mol x Mr

Dimana :

n mol = jumlah mol zat terlarut (mol)

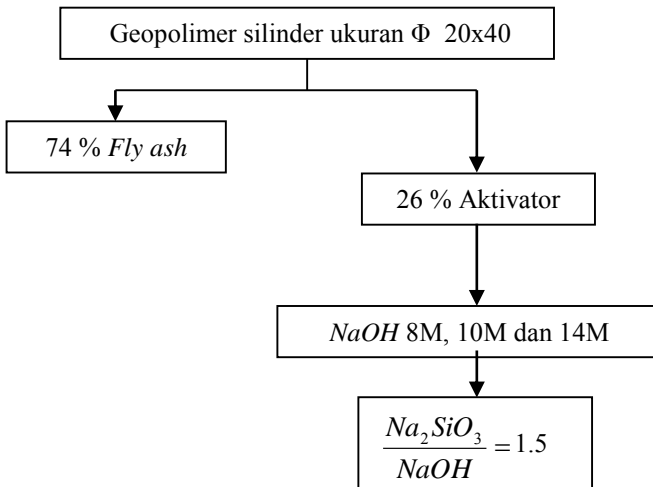
Mr = Massa relatif atom ()

A.2 Pengelompokan NaOH menurut molaritas dan perbandingan massa *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Sodium Hidroksida* ($NaOH$)

Dalam penelitian ini akan digunakan 3 buah komposisi campuran beton yang terbagi menjadi 3 kelompok besar. Pengelompokan ini berdasarkan molaritas larutan $NaOH$ yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Penggunaan larutan *Sodium Hidroksida* ($NaOH$) 8M dengan perbandingan antara $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$
2. Penggunaan larutan *Sodium Hidroksida* ($NaOH$) 10M dengan perbandingan antara $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$
3. Penggunaan larutan *Sodium Hidroksida* ($NaOH$) 14M dengan perbandingan antara $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$

Setiap komposisi campuran tersebut, akan dibuat 9 benda uji. *Mix* desain binder geopolimer dapat dilihat dalam gambar 3.2



Gambar 3.2 – Diagram Alir *Mix* Desain Geopolimer

- Untuk menghitung volume, digunakan rumus

$$\text{Volume} = \frac{1}{4} \pi d^2 t$$

- Sedangkan untuk menghitung massa binder, dapat digunakan rumus

$$\text{Massa} = \rho \times V$$

- Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah massa *fly ash*, Na_2SiO_3 dan NaOH adalah sebagai berikut

$$\text{Massa geopolimer} = \text{massa } fly\ ash + \text{massa aktivator}$$

$$\text{Massa } fly\ ash = 74 \% \text{ massa geopolimer .}$$

Massa aktivator = 26 % massa geopolimer

Massa aktivator = massa Na_2SiO_3 + massa NaOH

B. Pembuatan Pasta Geopolimer

B.1 Pasta Geopolimer 20x40 mm² untuk uji tekan

Berdasarkan hasil mix desain yang telah dibuat, maka yang akan dilakukan selanjutnya adalah membuat *filler* geopolimer. Untuk setiap komposisi campuran, akan dibuat 9 benda uji. Berikut ini adalah akan disajikan langkah – langkah pembuatan binder geopolimer dengan kadar 8 M dan perbandingan $\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$

1) Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.

☉ Alat

1. Seperangkat mixer
2. Cetakan berukuran 20 x 40 mm²
3. Wadah plastik
4. Timbangan digital

☉ Bahan

NaOH 8 M	= 5.2 gram x 9 sampel	= 46.8 gram
Na_2SiO_3	= 2.6 gram x 9 sampel	= 23.4 gram
<i>Fly ash</i>	= 22.35 gram x 9 sampel	= 201.2 gram
Oli		

- 2) Masukkan *fly ash*, NaOH 8 M dan Na_2SiO_3 ke dalam wadah. Setelah itu, campurkan dengan menggunakan mixer selama \pm 3 menit hingga adonan menjadi rata.
- 3) Lumuri cetakan dengan oli agar binder yang dihasilkan, tidak lengket dengan cetakan.
- 4) Masukkan adonan geopolimer yang telah rata tersebut ke dalam cetakan.
- 5) Setelah terlihat agak sedikit mengeras, ratakan permukaan binder tersebut.
- 6) Cetakan bisa dilepas setelah binder sudah mengeras. Setelah itu, simpan binder di dalam wadah kedap air

agar tidak terjadi penguapan berlebihan dan tidak tercampur dengan binder – binder dari komposisi yang lain.

Dengan menggunakan langkah – langkah pengerjaan yang sama, dapat dibuat binder geopolimer dengan komposisi – komposisi yang lain.

B.2 Geopolimer Untuk Menjadi *Filler*

Sama seperti pembuatan binder untuk uji tekan tetapi pasta yang dibuat tidak dicetak dalam silinder tetapi di nampan dan komposisi bahan juga lebih banyak karena perkiraan untuk satu variasi (10 sampel aspal beton) dengan kadar aspal berbeda membutuhkan $\pm 800\text{g}$ Berikut ini adalah akan disajikan langkah – langkah pembuatan binder geopolimer dengan kadar 8 M dan

perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$

- Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.

- ⊗ Alat

1. Seperangkat mixer
2. Wadah plastik
3. Nampan
4. Timbangan digital

- ⊗ Bahan

- ⊗ $\pm 800\text{gr} = 27$ sampel, jadi untuk perhitungan komposisi dibuat seperti untuk 27 sampel

NaOH 8 M = 5.2 gram x 27 sampel= 46.8 gram

Na₂SiO₃ = 2.6 gram x 27 sampel= 23.4 gram

Fly ash = 22.35 gram x 27 sampel= 201.2 gram

Oli

- Masukkan *fly ash*, *NaOH* 8 M dan *Na₂SiO₃* ke dalam wadah. Setelah itu, campurkan dengan menggunakan mixer selama ± 3 menit hingga adonan menjadi rata.
- Lumuri nampan dengan oli agar binder yang dihasilkan, tidak lengket dengan cetakan.

- Masukkan adonan geopolimer yang telah rata tersebut ke dalam nampan.
- Setelah terlihat agak sedikit mengeras, ratakan permukaan binder tersebut.
- Pasta bisa dilepas setelah binder sudah mengeras. Setelah itu, simpan binder di dalam wadah kedap air agar tidak terjadi penguapan berlebihan dan tidak tercampur dengan binder – binder dari komposisi yang lain.

C. Tes Kuat Tekan Pasta Geopolimer (ASTM C 39-94)

Tes kuat tekan geopolimer ini, akan dilakukan pada usia 28 hari. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 2 benda uji dari setiap komposisi untuk diambil rata-rata dari setiap nilai yang diperoleh.

Tes kuat tekan binder dilakukan di workshop struktur Teknik Sipil ITS . Alat yang digunakan untuk melakukan pengetesan ini adalah torsi universal testing machine AU-5 berkapasitas 5 ton.

1. Peralatan

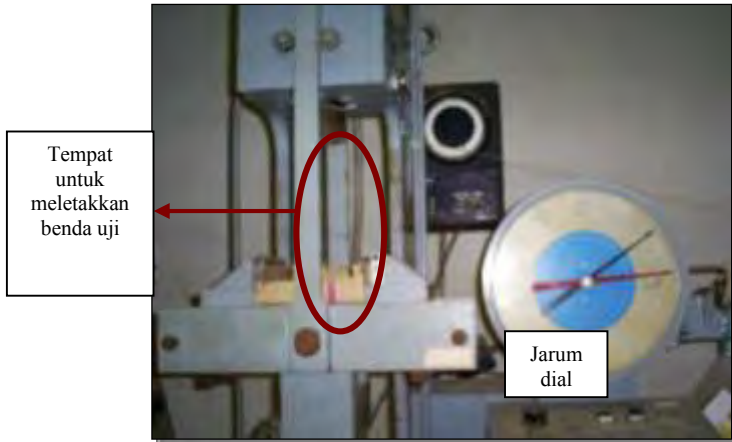
- Mesin test hidrolis (Torsee Universal Testing Machine).
- Kertas amplas

2. Bahan.

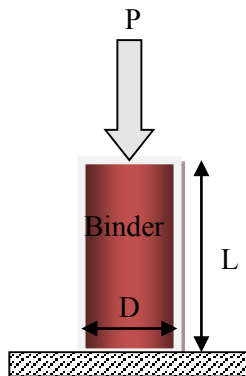
- Benda uji silinder ukuran $\Phi 20 \times 40 \text{ mm}^2$.

3. Prosedur Pelaksanaan

Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan kertas amplas. Lalu letakkan benda uji pada alat tekan mesin tes hidrolis. Kemudian mesin digerakkan untuk menekan benda uji sampai hancur. Pada saat mesin bergerak menekan benda uji, jarum dial akan memutar dan kemudian berhenti pada saat benda uji hancur. Dial kemudian akan menunjukkan angka kuat tekan benda uji tersebut.



Gambar 3.29. – Mesin Test Hidrolis (Torsee Universal Testing Machine)



Gambar 3.30 – Pemodelan Tes Tekan Geopolimer

- Rumus yang digunakan

Untuk menghitung besarnya kuat tekan geopolimer, maka digunakan rumus

$$\sigma = \frac{P}{A} \times \frac{1}{g}$$

Dimana :

- σ = Besarnya kuat tekan geopolimer (MPa)
- P = Gaya yang diberikan terhadap permukaan (Kg)
- A = Luas permukaan geopolimer (cm²)
- g = percepatan gravitasi bumi = 9.8106 m/s²

II. Tata Cara Pelaksanaan Pemeriksaan Bahan Campuran

A. Pemeriksaan Aspal

A.1 Tes Penetrasi

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (AASHTO T – 49 – 68)
- (SNI 06 – 2456 – 1991)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk :

Menentukan penetrasi Bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu kedalam bitumen pada suhu tertentu pula.

2. Peralatan

- a. Alat penetrasi yang dapat menggerakkan pemegang jarum naik turun tanpa gesekan dan dapat mengukur penetrasi sampai 0,1 mm.
- b. Pemegang jarum seberat ($47 \pm 0,05$) gram yang dapat dilepas dengan mudah dari alat penetrasi untuk penetran.
- c. Pemberat dari ($50 \pm 0,05$) gram dan ($100 \pm 0,05$) gram masing-masing digunakan untuk pengukuran penetrasi dengan beban 100 gram dan 200 gram.
- d. Jarum penetrasi stainless steel dengan mutu 440 C atau HRC 54 sampai 60 dengan ukuran dan bentuk menurut gambar dibawah, ujung jarum harus berbentuk kerucut terpancung.
- e. Cawan contoh terbuat dari logam atau gelas berbentuk silinder dengan dasar yang rata-rata berukuran :

PENETRASI	DIAMETER	KEDALAMAN
< 200	55 mm	35 mm
200 – 300	70 mm	45 mm

- f. Bak peredam (Waterbath), terdiri dari bejana tidak kurang 10 liter dan dapat menahan suhu tertentu

dengan ketelitian $\pm 0,1$ °C. Bejana ini dilengkapi dengan pelat dasar berlubang-lubang terletak 50 mm di atas bejana dan tidak kurang dari 100 mm di bawah permukaan air dalam bejana.

- g. Tempat air untuk benda uji ditempatkan di bawah alat penetrasi. Tempat tersebut mempunyai isi tidak kurang dari 350 ml dan tinggi yang cukup untuk meredam benda uji tanpa bergerak.
- h. Pengukuran waktu (Stopwatch). Pengukuran waktu penetrasi dengan skala pembagian terkecil 0,1 detik atau kurang dan kesalahan tertinggi 0,1 detik per jam.
- i. Termometer

3. Benda Uji

Contoh dipanaskan perlahan-lahan serta diaduk-aduk sehingga cukup air untuk dituangkan. Pemanasan contoh ter tidak boleh lebih dari 60 °C di atas titik lembek, dan untuk Bitumen tidak boleh lebih dari 90 °C di atas titik lembek. Waktu pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit, diaduk-aduk perlahan-lahan agar udara tidak masuk ke dalam contoh. Setelah cair dituang hingga dingin. Tinggi contoh dalam tempat tersebut tidak kurang dari angka penetrasi ditambah 18 mm. Benda uji dibuat dua, benda uji ditutup agar bebas dari debu dan didiamkan dalam suhu ruang selama 1 sampai 1,5 jam untuk benda uji kecil, 1,5 sampai 2 jam untuk benda uji besar.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Benda uji diletakkan dalam tempat air yang kecil dan tempat air tersebut dimasukkan dalam bak peredam yang bersuhu ($25 \pm 0,1$) °C, didiamkan dalam bak tersebut selama 1 – 1,5 jam.
- b. Pemegang jarum diperiksa agar jarum dapat dipasang dengan baik dan jarum penetrasi dibersihkan dengan toluena, kemudian jarum tersebut dikeringkan dengan lap bersih dan dipasang pada pemegang jarum.
- c. Pemberat 100 gram diletakkan di atas jarum untuk memperoleh beban ($100 \pm 0,01$) gram.

- d. Tempat air dipindahkan dari bak peredam ke bawah alat penetrasi.
- e. Jarum diturunkan perlahan-lahan sehingga menyentuh permukaan benda uji, kemudian angka nol di arloji penetrometer diatur sehingga jarum penunjuk berhimpit.
- f. Pemegang jarum dilepaskan dan stopwatch serentak dijalankan selama jangka waktu ($5 \pm 0,1$) detik.
- g. Arloji penetrometer diputar dan dibaca angka penetrasi yang berhimpit dengan jarum penunjuk, angka dibulatkan hingga 0,1 mm terdekat.
- h. Jarum dilepaskan dari pemegangnya dan disiapkan untuk test penetrasi berikutnya.

Pekerjaan a – g diatas dilakukan berulang kali sebanyak 5 kali untuk setiap benda uji yang sama dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak 1 cm, dan dari tepi dinding lebih dari 1 cm.

A.2 Daktilitas Aspal

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (AASHTO T – 51 – 74)
- (SNI 06 – 2432 – 1991)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk :

Mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu, dengan tujuan sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui daya penguluran dari suatu jenis aspal. Aspal yang mempunyai daktilitas tinggi biasanya mempunyai sifat semen yang aktif dan banyak terpengaruhi oleh suhu.
- b. Hubungannya dengan pelaksanaan adalah untuk menentukan jenis aspal yang dipakai berkaitan dengan sifat kerapuhannya. Aspal yang baik daktilitasnya lebih besar dari 100 cm dengan tarikan 5 cm/detik

2. Peralatan

- a. Termometer.

- b. Cetakan daktilitas kuningan.
- c. Bak perendam isi 10 liter yang dapat menjaga suhu tertentu selama pengujian dengan ketelitian $0,1^{\circ}\text{C}$, dan benda uji dapat direndam sekurang-kurangnya 10 cm di bawah permukaan air. Bak tersebut dilengkapi dengan pelat dasar yang berlubang diletakkan 5 cm dari dasar bak perendam untuk meletakkan benda uji.
- d. Mesin dengan ketentuan sebagai berikut :
 - Dapat menarik benda uji dengan kecepatan yang tetap.
 - Dapat menjaga benda uji tetap terendam dan tidak menimbulkan getaran selama pemeriksaan.
- e. Methy alcohol teknik dan sodium chlorida teknik.

3. Benda Uji

- a. Cetakan benda uji diletakkan pada posisinya dan dilapisi dengan campuran gliserin dan dextrin atau gliserin dan talk. Kemudian cetakan daktilitas dipasang di atas pelat dasar.
- b. Contoh aspal (100 gr) dipanaskan sehingga menjadi cair dan dapat dituangkan. Untuk menghindari pemanasan setempat dilakukan dengan hati-hati, pemanasan dilakukan sampai suhu 80°C sampai dengan 100°C dibawah titik lembek, kemudian contoh disaring dengan saringan No. 50 dan setelah diaduk dituangkan dalam cetakan.
- c. Pada waktu mengisi cetakan, contoh dituangkan hati-hati dari ujung ke ujung hingga penuh.
- d. Cetakan didinginkan pada suhu ruang antara 30 – 40 menit, lalu dipindahkan ke dalam bak perendam yang telah disiapkan pada suhu pemeriksaan (sesuai dengan spesifikasi) selama 30 menit, kemudian contoh yang berlebihan diratakan dengan pisau yang panas sehingga cetakan terisi penuh dan rata.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Benda uji didiamkan pada suhu 25°C dalam bak perendam selama 85 – 95 menit kemudian benda uji dilepaskan dari pelat dasar dan sisi-sisi cetakan
- b. Benda uji dipasang pada mesin uji dan benda uji ditarik secara teratur dengan kecepatan 5 cm/menit sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% masih diijinkan. Jarak antara pemegang cetakan dibaca, pada saat benda uji putus (dalam cm). Selama percobaan berlangsung benda uji harus terendam sekurang-kurangnya 2,5 cm dari muka air dan suhu harus dipertahankan ($25 \pm 0,5$)°C.

A.3 Pemeriksaan Titik Lembek

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (AASHTO T – 53 – 74)
- (SNI 06 – 2434 – 1991)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk :

Menentukan titik nyala dan titik lembek dari aspal, dimana :

- *Titik Lembek* adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal itu menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada besaran waktu tertentu, sebagai akibat pemanasan dengan kepadatan tertentu. sedangkan tujuan pratikum ini adalah mendapatkan titik lembek aspal dikisaran 30 – 200°C

2. Peralatan

- a. Termometer.
- b. Cincin kuningan.
- c. Bola baja, diameter 9,53 mm dengan berat = 3,45 – 3,55 gr.
- d. Alat pengarah bola.

- e. Bejana gelas, tahan pemanasan mendadak dengan diameter dalam = 8,5 cm dan tinggi sekurang-kurangnya 12 cm.
- f. Dudukan benda uji.
- g. Penjepit.

3. Benda Uji

- Panaskan contoh perlahan-lahan sambil diaduk terus menerus hingga cairan menjadi rata. Pemanasan dan pengadukan dilakukan perlahan-lahan agar gelembung udara tidak masuk. Setelah merata, tuanglah contoh ke dalam dua buah cincin, suhu pemanasan tidak lebih dari 111°C di atas titik lembeknya. Waktu untuk pemanasan ≤ 30 menit.
- Panaskan dua buah cincin sampai mencapai suhu tuang contoh dan letakkan kedua cincin di atas pelat kuningan yang telah diberi lapisan dari campuran talk dan sabun.
- Tuangkan contoh ke dalam 2 buah cincin, diamkan pada suhu sekurang-kurangnya 8°C di bawah titik lembeknya sekurang-kurangnya selama 30 menit.
- Setelah dingin permukaan contoh diratakan dalam cincin dengan pisau yang dipanaskan.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Pasang dan atur kedua cincin di atas tempat duduknya, letakkan pengarah bola di atasnya kemudian masukkan semua peralatan tersebut ke dalam bejana gelas. Bejana diisi dengan air suling dengan suhu $(5 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ hingga tinggi permukaan air berkisar 101,6 sampai 108 mm. Letakkan termometer yang sesuai untuk pekerjaan ini di antara kedua benda uji ($\pm 12,7$ mm dari tiap cincin). Periksa dan atur jarak antara permukaan plat dasar dengan benda uji sehingga menjadi 25,4 mm.
- b. Letakkan bola-bola baja bersuhu 5°C di atas dan di tengah permukaan masing-masing benda uji dengan menggunakan penjepit dan memasang kembali pengarah bola.

- c. Panaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh diambil dari kecepatan pemanasan rata-rata dari akhir pekerjaan ini. Untuk 3 menit pertama, perbedaan kecepatan pemanasan $\leq 0,5^{\circ}\text{C}$.

A.5 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (AASHTO T – 48 - 74)
- (SNI 06 – 2433 – 1991)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk :

Menentukan titik nyala dan titik bakar dari aspal, dimana :

- *Titik nyala* adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal.
- *Titik bakar* adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal.

2. Peralatan

- a. Termometer.
- b. Cawan kuningan.
- c. Pelat pemanas, terdiri dari logam untuk melekatkan cawan dan bagian atas dilapisi seluruhnya oleh asbes setebal 0,8 cm.
- d. Sumber pemanas, dipakai pembakaran gas yang tidak menimbulkan asap.
- e. Penahan angin, yaitu alat yang dapat menahan hembusan angin.
- f. Nyala penguji yang dapat diatur dan memberikan nyala dengan diameter 3,2 – 4,8 mm dengan panjang tabung 7,5 cm.

3. Benda Uji

Panaskan contoh aspal antara $130 - 140^{\circ}\text{C}$ sampai cukup cair, kemudian isi cawan kuningan sampai garis dan hilangkan gelembung udara yang ada pada permukaan cairan.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Letakkan cawan di atas pelat pemanas dan diatur sumber pemanas hingga terletak di bawah titik tengah cawan.
- b. Letakkan nyala penguji dengan poros pada jarak 7,5 cm dari titik tengah cawan.
- c. Tempatkan termometer tegak lurus di dalam benda uji dengan jarak 6,4 mm di atas dasar cawan dan terletak pada satu garis yang menghubungkan titik poros nyala penguji, kemudian diatur hingga poros termometer terletak pada jarak $\frac{1}{4}$ diameter cawan dari tepi.
- d. Tempatkan penahan angin di depan nyala penguji.
- e. Nyalakan sumber pemanas dan atur pemanasan sehingga kenaikan suhu 15°C permenit hingga benda uji mencapai suhu 56°C di bawah titik nyala perkiraan.
- f. Atur kecepatan pemanasan $5^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$ per menit pada suhu 50°C dan 28°C di bawah titik nyala perkiraan.
- g. Nyala penguji dinyalakan dan diatur agar diameter nyala penguji 3,2 sampai 4,8 mm.
- h. Putar nyala penguji hingga melalui permukaan cawan (dari tepi ke tepi cawan) dalam selang waktu 1 detik, ulangi pekerjaan setiap kenaikan 2°C .
- i. Lanjutkan pekerjaan f & h sampai terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan benda uji, dibaca suhu pada termometer dan dicatat.
- j. Lanjutkan pekerjaan ini sampai terlihat nyala yang agak lama (5 detik) di atas permukaan benda uji . Bacalah suhu pada termometer dan catat.

B. Pemeriksaan Agregat

B.1 Pemeriksaan Abrasi Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

Pemeriksaan ini dengan mesin Los Angeles dan disesuaikan dengan manual :

- (AASHTO T - 96 - 76)
- (SNI 03 - 2417 - 1991)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk :
Menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin “*Los Angeles*”. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula dalam prosentase.

2. Peralatan

- a. Mesin Los Angeles, mesin terdiri atas silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm (28”), panjang 50 cm (20”). Silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendarat. Silinder berlubang untuk memasukkan benda uji. Penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu. Di dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 8,9 cm (3,56”).
- b. Saringan No. 12 dan saringan-saringan lainnya seperti berikut : $3/8''$, $3/4''$, $1/2''$.
- c. Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
- d. Bola - bola baja (12 buah) dengan diameter rata-rata sebesar 4,86 cm ($1\ 7/8''$), dengan berat masing-masing antara 390 – 445 gram.
- e. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

3. Benda Uji

- a. Berat dan gradasi benda uji sesuai daftar No. 1
- b. Benda uji dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

Pelaksanaan disini disesuaikan buku petunjuk dengan nomor kode PB-0209-76.

- a. Benda uji diambil kemudian disaring dengan ketentuan sebagai berikut:
 - Lolos $1\ 1/2''$ dan tertahan $1'' = 1250$ gram

- Lolos 1” dan tertahan $\frac{3}{4}$ ” = 1250 gram
- Lolos $\frac{3}{4}$ ” dan tertahan $\frac{1}{2}$ ” = 1250 gram
- Lolos $\frac{1}{2}$ ” dan tertahan $\frac{3}{8}$ ” = 1250 gram
 - b. Benda uji dicuci, dan dipanaskan dalam oven selama (24 ± 4) jam
 - c. Diambil 5000 gram dan dicampur, kemudian dimasukkan dalam mesin Los Angeles bersama bola-bola sebanyak 12 buah
 - d. Mesin diputar dengan kecepatan antara 30 - 33 rpm, dengan jumlah putaran 500 kali (15 menit).
 - e. Setelah selesai pemutaran benda uji dikeluarkan dari mesin, kemudian disaring dengan saringan No. 12. Butiran yang tertahan dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C sampai berat menjadi tetap.

5. Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

dimana,

a = Berat benda uji semula

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram)

B.2 Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan:

- (SNI 03 – 1968 – 1990)
- (ASTM C – 136 – 46)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk:

- Menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan (Standart ASTM).

- Mengetahui ukuran butiran agar dapat menentukan suatu komposisi campuran agregat yang memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2. Peralatan

- a. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari berat benda uji
- b. Satu set saringan : 19,1 mm (3/4") ; 12,5mm (1/2 ") ; 9,5 mm (3/8") ; No. 4 ; No. 8 ; No.16 ; No. 30 ; No. 50 ; No. 100 ; No. 200 ; Pan (standart ASTM).
- c. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai pada suhu (110 \pm 5) °C.
- d. Alat pemisah contoh
- e. Mesin pengguncang saringan
- f. Talam-talam untuk tempat agregat
- g. Kuas, sikat kuningan, sendok dan alat lainnya

3. Benda Uji

Frakasi Agregat, digolongkan menjadi 3 fraksi :

- F1, ukuran 1 1/2 - 3/4", berat contoh 5000 gram
- F2, ukuran 3/4" - No. 4, berat contoh 3500 gram
- F3, ukuran No. 4 - No. 200, berat contoh 2250 gram

Semua contoh yang digunakan sebagai benda uji diambil pada berat tetap. Berat tetap adalah berat agregat kering oven pada suhu kamar dan diulang dioven satu jam lagi setelah didinginkan pada suhu kamar lagi maka beratnya tetap, oven harus senantiasa pada suhu (110 \pm 5) °C, karena air pada suhu 100 °C akan menguap sehingga kandungan air pada agregat itu akan hilang.

Klasifikasi Agregat :

- Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4
- Agregat halus yaitu agregat yang lolos melalui saringan No. 4

Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan agregat kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi 2 bagian dengan saringan No. 4, selanjutnya agregat halus dan agregat kasar disediakan sebanyak jumlah seperti tercantum diatas.

Benda uji disiapkan sesuai dengan persyaratan (PB-0208-76) kecuali apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

Pelaksanaan disini disesuaikan buku petunjuk dengan nomor kode PB-0201-76.

1. Benda uji dikeringkan didalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C sampai berat tetap
2. Benda uji disaring lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

5. Perhitungan

Menghitung prosentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

B.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (SNI 03 – 1969 – 1990)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk :

Menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) dan berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar, dimana :

- a. **Berat jenis (*bulk specific gravity*)** ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- b. **Berat jenis kering permukaan (*SSD*)** yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- c. **Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)** ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

- d. **Penyerapan** adalah prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Kemampuan agregat untuk menyerap air dan aspal adalah suatu informasi yang penting yang harus diketahui dalam pembuatan campuran beraspal. Jika daya serap agregat sangat tinggi, agregat ini akan terus menyerap aspal baik pada saat maupun setelah proses pencampuran agregat dengan aspal di unit pencampur aspal (AMP). Hal ini akan menyebabkan aspal yang berada pada permukaan agregat yang berguna untuk mengikat partikel agregat menjadi lebih sedikit sehingga akan menghasilkan film aspal yang tipis. Oleh karena itu, agar campuran yang dihasilkan tetap baik agregat yang porus memerlukan aspal yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kurang porus.

2. Peralatan

Peralatan yang dipakai dalam praktikum ini adalah :

- a. Keranjang kawat No. 6 atau No. 8 (ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm) dengan kapasitas kira-kira 5 kg.
- b. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
- c. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- d. Oven dengan pengatur suhu dengan temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- e. Alat pemisah contoh.
- f. Saringan No. 4

3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang tertahan pada saringan no. 4 yang diperoleh dari alat pemisah contoh sebanyak ± 5 kg

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu yang melekat pada permukaan agregat.
- b. Benda uji dioven pada suhu $105 ^\circ\text{C}$ sampai pada berat tetap.

- c. Benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,5 gram (B_k).
- d. Benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama ± 24 jam
- e. Mengeluarkan benda uji dari air dan mengelap dengan kain penyerap sampai kering permukaan (SSD), untuk butiran besar dilap satu persatu.
- f. Menimbang benda uji permukaan jenuh (SSD)
- g. Meletakkan benda uji dalam keranjang lalu mengguncang untuk mengeluarkan udara yang tersekap diantara batu dan mengamati berapa beratnya dalam air (B_a).
- h. Suhu air diukur untuk penyesuaian hitungan pada suhu standart ($25\text{ }^\circ\text{C}$)

5. Perhitungan

$$\text{a. Berat jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Berat jenis kering permukaan jenuh} \\ \text{(Saturated Surface Gravity)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \end{aligned}$$

$$\text{c. Berat jenis semu (app. Specific Gravity)} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$\text{d. Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Dimana :

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gram)

B.4 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (SNI 03 – 1970 – 1990)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan :

- a. **Berat jenis** (*bulk specific gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh dalam suhu tertentu.
- b. **Berat jenis kering permukaan** (*saturated dry*) adalah perbandingan antara agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- c. **Berat jenis semu** (*apparent specific gravity*) adalah perbandingan antara agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan pada suhu tertentu.
- d. **Penyerapan** adalah prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Kemampuan agregat untuk menyerap air dan aspal adalah suatu informasi yang penting yang harus diketahui dalam pembuatan campuran beraspal. Jika daya serap agregat sangat tinggi, agregat ini akan terus menyerap aspal baik pada saat maupun setelah proses pencampuran agregat dengan aspal di unit pencampur aspal (AMP). Hal ini akan menyebabkan aspal yang berada pada permukaan agregat yang berguna untuk mengikat partikel agregat menjadi lebih sedikit sehingga akan menghasilkan film aspal yang tipis. Oleh karena itu, agar campuran yang dihasilkan tetap baik agregat yang porus memerlukan aspal yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kurang porus.

2. Peralatan

- a. Timbangan, kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram.
- b. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
- c. Kerucut terpancung (cone), diameter bagian atas (40 ± 3) mm, diameter bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm, dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm.
- d. Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (350 ± 15) gram, diameter permukaan (25 ± 3) mm.
- e. Saringan No. 4
- f. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 ± 5) °C.
- g. Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1 °C.
- h. Talam.
- i. Bejana tempat air.
- j. Pompa hampa udara (*Vacum pump*) atau tungku.
- k. Air suling.
- l. Desikator.

3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lewat saringan No. 4, diperoleh dari alat pemisah contoh sebanyak 500 gram.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5) °C, sampai mencapai berat yang tetap. Yang dimaksud berat tetap adalah keadaan benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar dari pada 0,1 %. Didinginkan dalam suhu ruang, kemudian direndam dalam air selama (24 ± 4) jam.
- b. Membuang air perendam dengan hati-hati supaya tidak ada butiran yang hilang, lalu menebarkan agregat diatas talam dan mengeringkan diudara panas dengan

- cara membalikkan benda uji. Pengeringan dilakukan sampai mencapai kering permukaan jenuh.
- c. Memeriksa keadaan kering permukaan jenuh dengan cara memasukkan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak.
 - d. Setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh, 500 gram benda uji dimasukkan ke dalam piknometer. Memasukkan air suling dijaga agar jangan sampai terlihat gelembung udara di dalamnya. Untuk mempercepat proses ini, dapat digunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terhisap, dapat juga dilakukan dengan cara merebus piknometer.
 - e. Merendam piknometer dalam air dan mengukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standart 25 °C.
 - f. Menambah air sampai mencapai tanda batas.
 - g. Menimbang piknometer yang berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (**Bt**).
 - h. Benda uji dikeluarkan, dikeringkan dalam oven dengan suhu 110 °C sampai mencapai berat tetap, kemudian didinginkan dalam desikator.
 - i. Setelah benda uji dingin kemudian ditimbang (**Bk**).
 - j. Menentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standart 25 °C (**B**).

5. Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis (Bulk Specific Gravity)} \\
 = & \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}
 \end{aligned}$$

b. **Berat jenis kering permukaan jenuh** (*Saturated Surface Gravity*)

$$= \frac{500}{(B + 500 - Bt)}$$

c. **Berat jenis semu** (*Apparent Specific Gravity*)

$$= \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$$

d. **Penyerapan**

$$= \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$$

dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

B.5 Berat Jenis Filler

Pemeriksaan ini disesuaikan dengan :

- (SNI 03 – 2460 – 1991)

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan :

- **Berat jenis** (*bulk specific gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh dalam suhu

2. Peralatan

- Timbangan, kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram.
- Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
- Air suling.

3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lewat saringan No. 4, diperoleh dari alat pemisah contoh sebanyak 500 gram.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5) °C, sampai mencapai berat yang tetap. Yang dimaksud berat tetap adalah keadaan benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar dari pada 0,1 %. Didinginkan dalam suhu ruang, kemudian direndam dalam air selama (24 ± 4) jam.
- tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- Setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh, 500 gram benda uji dimasukkan ke dalam piknometer. Memasukkan air suling dijaga agar jangan sampai terlihat gelembung udara di dalamnya. Untuk mempercepat proses ini, dapat digunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terhisap, dapat juga dilakukan dengan cara merebus piknometer.
- Merendam piknometer dalam air dan mengukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standart 25 °C.
- Menambah air sampai mencapai tanda batas.

5. Perhitungan

Gs = Berat jenis

- W1 = berat piknometer (gram).
- W2 = berat piknometer dan bahan kering (gram).
- W3 = berat piknometer, bahan dan air (gram).
- W4 = berat piknometer dan air (gram).

C. Pemeriksaan Campuran dengan Alat Marshall

1. Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stability*) campuran aspal dengan agregat terhadap kelelahan plastis (*flows*).

Ketahanan (*stability*) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis, yang dinyatakan dalam kilogram atau pound.

Kelelahan plastis (*flows*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,1 inch

2. Peralatan

1. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,7 cm (3") lengkap dengan plat atas dan leher sambung
2. Alat pengeluar benda uji. Untuk benda uji yang sudah didapatkan dari dalam cetakan dikeluarkan dengan alat ejektor
3. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 pound), dan tinggi jatuh bebas 35,7 cm (18")
4. Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau sejenis) berukuran kira-kira 20 x 20 x 45 cm yang dilapisi dengan plat baja berukuran 30 x 30 x 2,3 cm dan diikatkan pada lantai beton dengan 4 bagian siku
5. Silinder cetakan benda uji
6. Mesin tekan lengkap :
7. kepala penekan berbentuk lengkung (breaking head)
8. cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001")
9. arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01") dengan perlengkapannya
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (200 ± 3)°C

- Bak perendam (waterbath) yang dilengkapi dengan pengatur suhu minimum 20°C
- Perlengkapan lainnya :
 1. panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal
 2. Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 0,5 atau 1 % dari kapasitas
 3. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram
 4. Kompom
 5. Sarung asbes dan karet
 6. Sendok pengaduk dan perlengkapan lain

3. Benda Uji

a. Persiapan benda uji :

Agregat dikeringkan sampai berat tetap pada suhu (105 ± 5)°C. Agregat dipisahkan dengan cara penyaringan kering ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki.

b. Penentuan suhu pencampuran dan pematatan

Suhu campuran ditetapkan pada daftar berikut :

Bahan Pengikat t	Campuran			Pematatan		
	Kinematik k	Saybolt Furol	ENGLER	Kinematik k	Saybolt Furol	ENGLER
	C,St	Det,S,F	-	C,St	Det,S,F	-
Aspal Panas	170±20	85±10	-	280±30	140±45	-
Aspal Dingin	170±20	85±10	-	280±30	140±45	-
Ter	-	-	25±3	-	-	40±5

c. Persiapan campuran

Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji sekitar $6,25 \pm 0,125$ cm ($2,5'' \pm 0,05''$). Panci dipanaskan beserta campuran agregat 28°C di atas suhu pencampur untuk aspal panas dan ter dan diaduk sampai merata. Aspal dituangkan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam

agregat yang sudah dipanaskan, kemudian diaduk sesuai point 3b sampai agregat melapis merata.

d. Pematatan benda uji

Perlengkapan cetakan benda uji dan penumbuk dibersihkan dengan seksama dan dipanaskan dengan suhu $93,3^{\circ}\text{C}$ dan $148,9^{\circ}\text{C}$. Selembar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting sesuai bentuk cetakan diletakkan ke dalam dasar cetakan, kemudian seluruh campuran dimasukkan ke dalam cetakan tersebut dan ditusuk dengan keras dengan sendok semen. Leher alat dilepaskan, permukaan campuran diratakan dengan sendok, sehingga menjadi sedikit cembung. Saat akan dipadatkan, suhu campuran harus dalam batas-batas pematatan (3b). Cetakan diletakkan di atas landasan pematat, kemudian ditumbuk dengan penumbuk sebanyak 75, 50 dan 35 kali dengan tinggi jatuh 45 cm.

Setelah itu benda uji dikeluarkan dari cetakannya ke atas permukaan rata yang halus, kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.

4. Cara Kerja dan Pelaksanaan

- a. Benda uji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel
- b. Masing-masing benda uji diberi tanda pengenal
- c. Tinggi dari benda uji diukur dengan ketelitian 0,1 mm
- d. Benda uji ditimbang
- e. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam
- f. Benda uji ditimbang dalam air untuk mendapatkan isi
- g. Sebelum melakukan pengujian, batang penuntun (guide rad) dan permukaan dalam test head dibersihkan dan dilumasi, sehingga batang penekan dapat meluncur dengan cepat dan bebas. Segmen dipasang di atas benda uji dan keseluruhannya diletakkan dalam mesin penguji. Arloji kelelehan (flow meter) dipasang pada kedudukannya, sementara selubung tangki arloji dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (breaking head). Selubung tangki arloji ditekan selama pembebanan berlangsung. Kedudukan arloji tekan diatur pada angka nol. Kemudian

diberikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan 50 mm/menit sampai pembebanan maksimum tercapai. Waktu tidak boleh melebihi 30 menit.

Spesifikasi Marshall Test

No	Jenis Test	Jenis Lalu Lintas		
		75 Kali (Llb)	50 Kali (Lls)	35 Kali (Llr)
1	Stabilitas (Kg)	750	650	460
2	Flow (Mm)	2 – 4	2 - 4.5	2 – 5
3	Rongga Terisi Aspal (%)	75 – 82	75 - 85	76 – 85
4	Rongga Dalam Campuran (%)	3 – 5	3 - 5	3 – 5
5	Density (Gr/Cc)	-	-	-

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. **ASTM C 39-94**.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1989. **Pedoman Tentang “Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas (SNI 03-1737-1989)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1990. **Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (SNI 03-1968-1990)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1991. **Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (SNI 06-2434-1991)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1991. **Metode Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1991. **Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles (SNI 03-2417-1991)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1991. **Uji Penetrasi Aspal (SNI 06-2456-1991)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 2003. **Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall (SNI M-01-2003)**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

- Balitbang Departemen Pekerjaan Umum. 2006. **Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan**. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Davidovits, J. 1991. **Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials**. Geopolymer Institut.
- Davidovits, J. 2004. **Global Warming Impact On The Cement And Aggregates Industries**. Geopolymer Institut.
- Davidovits, J. 2008. **Geopolymer Chemistry and Applications**. Geopolymer Institut
- Diegles Simoes de Toledo Pereira, Felipe Jose da Silva, Clelio Thaumaturgo. 2006. **High Performance Fiber Reinforced Geopolymer Concrete For Pavement**. Second International Airports Conference: Planning, Infrastructure & Environment.
- Hardjito, D., Rangan, B.V. 2005. **Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash- Based Geopolymer Concrete**. Perth, Australia.
- Hardjito, D., Wallah S.E., Rangan, B.V. 2004. **Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete**. Journal Civil Engineering Dimension.
- Januarti J. Ekaputri, Koichi Maekawa, and Tetsuya Ishida. 2010. **The Use of Geopolymerization Process for Boron Fixation in Fly Ash**. Simposium Beton dan Semen Internasional.
- Li,Z., Ding,Z., Zhang,Y. 2004. **Development Of Sustainable Cementitious Materials**. Hongkong,
- Muhammad Aiman bin Ismail. 2011. **Creep Properties of Geopolymer Bituminous Mixtures**. Universiti Teknologi Petronas.

Oktavina. 2007. **Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer dengan Bahan Pengikat *Fly Ash* dan Sodium Hidroksida 8M, 10 M, 12M dan 14M pada Suhu Ruang.** Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Mikhael Tardas, dilahirkan di Kota Jakarta pada tanggal 3 April 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Frans Krisos. dan Theodora Rahmadina.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SMP Kolose Kanisius di Jakarta dan lulus pada tahun 2008, serta SMA Negeri 8 Jakarta dan lulus pada tahun 2011. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sarjana jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya terdaftar dengan NRP 3111 100 140.

Di jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya, penulis adalah mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang keahlian transport.

Mikhael Tardas (Mr.)
Civil Engineering Student
Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya
mikhaeltardas@gmail.com
(+62) 87888453014