

TESIS

PEMANFAATAN SISA PEMBAKARAN BATUBARA PADA CAMPURAN ASPAL BETON GEOPOLIMER

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Meraih Gelar Magister Teknik
Pada Program Pasca Sarjana Teknik Sipil
Universitas Islam Riau



OLEH :

ELMAND LEONARD
NIM. 163121007

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2020**

TESIS



PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PERPUSTAKAAN

Jalan KH. Nasution No. 113 Gedung B Pascasarjana Universitas Islam Riau
Marpoyan, Pekanbaru, Riau

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 365/A-UIR/5-PSTK/PPs/2020

Perpustakaan Program Pascasarjana Universitas Islam Riau menerangkan:

Nama : Elmand Leonard
NPM : 163121007
Program Studi : Teknik Sipil

Telah melalui proses pemeriksaan kemiripan karya ilmiah (tesis) menggunakan aplikasi *Turnitin* pada tanggal 31 Maret 2020 dan dinyatakan memenuhi syarat batas maksimal tingkat kemiripan tidak melebihi 30 % (tiga puluh persen).

Surat keterangan ini digunakan untuk syarat ujian tesis dan pengurusan surat keterangan bebas pustaka.

Mengetahui

Ketua Prodi. Magister Teknik Sipil

Dr. Anas Puri, S.T., M.T.

Pekanbaru, 31 Maret 2020



Staf Perpustakaan

Sunardi, S.IP

Lampiran:

- *Turnitin Originality Report*

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Salam Sejahtera...!!

Dengan ini saya menyatakan dalam penulisan Tesis ini tidak ada karya yang pernah diajukan dalam memperoleh Gelar Magister Teknik disuatu Perguruan Tinggi dan disepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacuh dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 13 April 2020

Yang Menyatakan,



ELMAND LEONARD

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan petunjuknya sehingga penulisan Tesis ini bisa dirampungkan dengan baik, adapun penulisan Tesis ini merupakan salah satu prasyarat untuk menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

Penyelesaian studi dan penulisan Tesis ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada :

1. Istri dan anak saya, sebagai sang motivator yang selalu mendorong dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi.,SH,MCL selaku Rektor Universitas Islam Riau.
3. Bapak Prof.H. Yusri Munaf.,SH,MH selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri.,ST,MT selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Program Pasca sarjana Universitas Islam Riau.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono., MMT. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, saran dan nasihat dalam penyelesaian tesis ini.
6. Ibu Dr. Elizar., ST, MT selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan, saran dan nasihat dalam penyelesaian tesis ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen Staff Pengajar Program Pascasarjana Teknik Sipil yang sudah memberikan materi pembelajaran.

8. Staff dan Pegawai Tata Usaha Prodi Teknik Sipil Bapak Mastur.,A.Md serta Bapak dan Ibu Petugas Perpustakaan yang sudah memberikan bantuannya.
9. Direktur Utama, Project Manager dan Kepala Laboratorium Teknik PT. Bina Pembangunan Adi Jaya Ujung Batu berikut Asisten Laboratorium yang sudah membantu dalam penelitian dan pengolahan data riset.
10. Rekan - rekan dan sahabat Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Sipil Universitas Islam Riau angkatan X , XI dan XII.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tesis ini.

Penulisan tesis ini tidak terlepas dari kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran penulis harapkan demi penyempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Pekanbaru, Maret 2020

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Umum.....	8
2.2. Peneliti Terdahulu.....	8
2.3. Keaslian Penelitian.....	9
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1. Umum	11

3.2. Material.....	14
3.2.1. Agregat Kasar.....	15
3.2.2. Agregat Halus	15
3.2.3. Filler.....	16
3.2.4. Gradasi Agregat	17
3.3. Aspal.....	18
3.4. Aspal Beton.....	19
3.4.1. Karakteristik Campuran Aspal Beton	20
3.4.2. Pengujian Marshall dan Volumetrik Aspal Beton	22
3.5. Geopolimer.....	24
3.5.1. Penggunaan Geopolimer	24
3.5.2. Material Penyusun Geopolimer	25
3.5.3. Persiapan Bahan Geopolimer.....	25
3.5.4. Rancangan Campuran Geopolimer.....	28
3.5.5. Rancangan Campuran Aspal Beton Geopolimer	29
3.6. Analisa Data	30
BAB IV METODE PENELITIAN.....	31
4.1. Umum	31
4.2. Persiapan Bahan dan Alat	32
4.2.1. Persiapan Bahan	32
4.2.2. Persiapan Alat	33
4.3. Tahapan Penelitian.....	33
4.4. Uji Pendahuluan.....	38

4.4.1. Pengujian Sifat Bahan	38
4.4.2. Sifat-sifat Bahan dan Agegat	38
4.4.3. Pengujian Bahan Aspal	39
4.4.4. Persiapan dan Penentuan Benda Uji	40
4.4.5. Pengujian Perendaman Marshall Standar	40
4.4.6. Pengujian Perendaman Marshall Modifikasi	41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	42
5.1. Pengujian Material	42
5.1.1. Abu Batu Bara (<i>Fly Ash</i>)	42
5.1.2. Pengujian Gradasi Agregat	43
5.1.3. Pengujian Agregat Kasar	44
5.1.4. Pengujian Agregat Halus	46
5.1.5. Aspal	48
5.1.6. Pembuatan Geopolimer	49
5.2. Perencanaan Campuran	52
5.2.1. Perencanaan Campuran Aspal Beton	52
5.2.2. Rancangan Proporsi Aspal Terhadap Campuran	53
5.3. Penentuan Kadar Aspal Optimum	53
5.4. Rancangan Campuran Aspal Beton Geopolimer	57
5.5. Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Aspal Beton	60
5.5.1. Karakteristik Aspal Beton Terhadap pengaruh Penggunaan Filler Geopolimer	60

5.5.2. Pengaruh Karakteristik Campuran Aspal Beton Geopolimer Terhadap Gradasi	61
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	71
6.1. Kesimpulan.....	71
6.2. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	77



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Ketentuan Agregat Kasar	15
Tabel 3.2.	Ketentuan Agregat Halus	16
Tabel 3.3.	Ketentuan <i>Filler</i>	17
Tabel 3.4.	Ketentuan Butiran Agregat	18
Tabel 3.5.	Ketentuan Aspal Keras Penetrasi 60/70	19
Tabel 3.6.	Ketentuan Campuran Beton Aspal.....	20
Tabel 4.1.	Ketentuan Pengujian Agregat	39
Tabel 4.2.	Ketentuan Persyaratan Aspal Pen 60/70	39
Tabel 4.3.	Ketentuan Persyaratan Benda Uji.....	40
Tabel 5.1.	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i>	42
Tabel 5.2.	Hasil Pengujian Material Variasi	43
Tabel 5.3.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	45
Tabel 5.4.	Hasil Pengujian Agregat Halus dan <i>Filler</i>	48
Tabel 5.5.	Hasil Pengujian Aspal	49
Tabel 5.6.	Hasil Pengujian Pembakaran Abu Batu Bara dan Aktivator Satu Benda Uji	51
Tabel 5.7.	Hasil Pengujian Pembakaran Abu Batu Bara dan Aktivator Semua Benda Uji	51
Tabel 5.8.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Variasi Filler Pada Gradasi Tengah.	52
Tabel 5.9.	Hasil Pengujian Kadar Aspal Campuran Optimum	54

Tabel 5.10. Hasil Pengujian Kebutuhan Aspal Optimum.....	55
Tabel 5.11. Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Agregat Gradasi Atas.....	55
Tabel 5.12. Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Agregat Gradasi Tengah.....	56
Tabel 5.13. Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Agregat Gradasi Bawah	57
Tabel 5.14. Hasil Pengujian Kebutuhan Material dan Proporsi Agregat Gradasi Tengah.....	58
Tabel 5.15. Hasil Pengujian Material dan Proporsi <i>Filler</i>	59
Tabel 5.16. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Optimum <i>Fly Ash</i>	61
Tabel 5.17. Hasil Pengujian Penggunaan Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Berbagai Gradasi.....	61
Tabel 5.18. Hasil Pengujian Penggunaan Aspal Dengan <i>Fly Ash</i> Berbagai Gradasi	62
Tabel 5.19. Hasil Pengujian Karakteristik Perbandingan Penggunaan Kadar Aspal dan Kadar <i>Filler Geopolimer</i> dengan <i>Filler Fly Ash</i>	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Struktur Lapis Perkerasan Jalan.....	14
Gambar 3.2.	Sisa Pembakaran Batubara (<i>Fly Ash</i>).....	26
Gambar 3.3.	NaOH	27
Gambar 3.4.	Pembuatan Geopolimer.....	28
Gambar 4.1.	Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 5.1.	Grafik Variasi Gradasi	44
Gambar 5.2.	Pengujian Agregat Kasar	46
Gambar 5.3.	Pengujian Agregat Halus	47
Gambar 5.4.	Proses Pengujian Aspal.....	48
Gambar 5.5.	Pembuatan <i>Filler</i> Geopolimer	50
Gambar 5.6.	Grafik Kadar Aspal Optimum	54
Gambar 5.7.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap Stabilitas	63
Gambar 5.8.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap <i>Flow</i>	64
Gambar 5.9.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap MQ	65
Gambar 5.10.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap VIM.....	65
Gambar 5.11.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap VMA	66
Gambar 5.12.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap VFA.....	67
Gambar 5.13.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Geopolimer</i> Terhadap <i>Bulk Density</i> ..	67
Gambar 5.14.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Fly Ash</i> Terhadap Stabilitas	68
Gambar 5.15.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Fly Ash</i> Terhadap <i>Flow</i>	69
Gambar 5.16.	Pengaruh Aspal dan <i>Filler Fly Ash</i> Terhadap MQ.....	69

Gambar 5.17. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap VIM..... 70

Gambar 5.18. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap VMA..... 71

Gambar 5.19. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap VFA 71

Gambar 5.20. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap *Bulk Density*..... 72



PEMANFAATAN SISA PEMBAKARAN BATU BARA PADA CAMPURAN ASPAL BETON GEOPOLIMER

INTISARI

Limbah dari hasil pembakaran batu bara dari pembangkit tenaga listrik dan uap yang disebut *Fly Ash*. Limbah sisa pembakaran batu bara yang dihasilkan menjadi dampak lingkungan. Sisa pembakaran batu bara ini termasuk abu terbang yang bisa dimanfaatkan sebagai *filler* campuran aspal beton dengan menambah bahan aditif NaOH menjadi aktivator untuk menjadi *Geopolimer*. Pada penelitian yang pernah dilakukan untuk campuran aspal beton yang menggunakan *filler geopolimer* dapat meningkatkan stabilitas, namun disisi lain dapat memperbanyak rongga pada campuran aspal beton. Hasil yang diperoleh menunjukkan penggunaan *geopolimer* pada campuran aspal beton dapat meningkatkan stabilitas. Meskipun disisi lain memperbanyak rongga campuran, akan tetapi masih memenuhi spesifikasi. Aspal beton yang memakai *filler geopolimer* menghasilkan stabilitas dan VIM meningkat, sedangkan yang memakai *fly ash* menghasilkan stabilitas sedang dan VIM menurun.

Dalam penelitian ini dilakukan pemeriksaan sifat-sifat aspal beton *geopolimer* pada perkerasan jalan dengan memvariasikan penggunaan kadar aspal optimum, gradasi agregat dan komposisi *filler*. Seterusnya dari hasil penelitian tersebut dapat diterapkan pada perkerasan jalan untuk melihat perlakuannya. *Geopolimer* tersusun dari abu batu bara (*fly ash*) dicampur dengan larutan konsentrasi 8 molar yaitu NaOH sebagai bahan aktivatornya. *Fly Ash* dan aktivator dicampur, selanjutnya diendapkan mengeras selama 28 hari, setelah itu ditumbuk lolos saringan No 200 untuk dijadikan *filler*.

Karakteristik yang digunakan memenuhi spesifikasi teknik campuran gradasi atas, bawah dan tengah, tetapi dalam rancangan diusulkan menggunakan campuran gradasi tengah, apabila menggunakan gradasi atas atau bawah tidak dianjurkan sebab rongga campuran yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria spesifikasi, yaitu VIM pada gradasi atas 3,52%, gradasi tengah 4,33% dan gradasi bawah adalah 6,80%. Sedangkan untuk pemakaian campuran *filler geopolimer* disarankan sesuai komposisi 1% - 2% atau tidak boleh lebih dari 2%. Karena untuk meningkatkan stabilitas dan memperkecil rongga campuran aspal beton dengan menambah geopolimer bertujuan mengetahui penggunaan kadar aspal optimum yang digunakan dalam satu campuran, dan karakteristik material yang dipakai serta sumber material tersebut.

Kata Kunci: Aspal Beton *Geopolimer*, *Filler Geopolimer*, *Filler Fly Ash*, Gradasi Material.

UTILAZATION OF COAL COMBUSTION RESIDUE IN GEOPOLYMER CONCRETE ASPHALT MIXTURE

ABSTRACT

Waste from coal combustion from power plants and steam called Fly Ash. Waste from coal combustion produced will be an environmental impact. This coal combustion includes fly ash which can be used as a concrete asphalt mixture filler by adding NaOH additive as an activator to become a Geopolymer. In research that has been done for concrete asphalt mixes using geopolymer fillers can increase stability, but on the other hand can increase the cavity in concrete asphalt mixtures. The results obtained indicate the use of geopolymers in concrete asphalt mixtures can increase stability. Although on the other hand multiply the mixture cavity, but still meet the specifications. Asphalt concrete using geopolymer filler results in increased stability and VIM, while those using fly ash produce moderate stability and decreased VIM.

In this research, an examination of the properties of geopolymer concrete asphalt on pavement by varying the use of optimum asphalt content, aggregate gradation and filler composition. Furthermore, the results of these studies can be applied to the pavement to see the treatment. Geopolymers are composed of coal ash (fly ash) mixed with a solution of 8 molar concentration of NaOH as an activator. Fly Ash and activator are mixed, then precipitated to harden for 28 days, then crushed to pass filter No. 200 to be used as filler.

The characteristics used meet the technical specifications of the upper, lower and middle grading mixtures, but in the design it is proposed to use a mixture of middle grading, if using the upper or lower grading is not recommended because the resulting mixture cavities do not meet the specifications criteria, namely VIM in the upper grading of 3.52% , the middle gradation is 4.33% and the bottom gradation is 6.80%. Whereas for the use of geopolymer filler mixtures it is recommended according to the composition of 1% - 2% or not more than 2%. Because to increase the stability and reduce the cavity of the asphalt concrete mixture by adding geopolymers aims to determine the use of optimum asphalt content used in a mixture, and the characteristics of the material used and the source of the material.

Keywords: Asphalt Concrete Geopolymer, Geopolymer Filler, Fly Ash Filler, Gradation of Materials.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah yang berasal dari sisa pembakaran batu bara pembangkit tenaga listrik dan uap yang disebut *Fly Ash* banyak dihasilkan oleh Perusahaan Listrik Tenaga Uap yang menggunakan bahan bakar batu bara sebagai sumber energinya. Limbah sisa pembakaran batu bara yang dihasilkan dari abu terbang menjadi dampak lingkungan bagi masyarakat. Sisa pembakaran batu bara ini termasuk abu terbang yang bisa dimanfaatkan sebagai *filler* campuran aspal beton dengan menambah bahan aditif NaOH sebagai aktivator untuk menjadi *Filler Geopolimer*.

Laporan PLTU Tenayan Raya Pekanbaru hasil pembuangan sisa pembakaran batu bara pertahunnya bisa mencapai 1.000.000 ton/tahun atau 1.824 ton per hari (Bisnis.com,2017). Limbah dari hasil pembakaran batu bara sangat berbahaya bagi lingkungan. Limbah sisa pembakaran batu bara yang dihasilkan menjadi dampak lingkungan untuk itu perlu diteliti dan dimanfaatkan sebagai bahan alternatif tambahan untuk konstruksi jalan raya. Sisa pembakaran batu bara ini termasuk abu terbang yang bisa dimanfaatkan sebagai *filler* campuran aspal beton dengan menambah bahan aditif NaOH menjadi aktivator untuk menjadi *Geopolimer*. Pada penelitian yang pernah dilakukan untuk campuran perkerasan lentur yang memakai abu terbang batu bara yang sudah menjadi *filler geopolimer* bisa meningkatkan stabilitas perkerasan, dan

berdampak terhadap banyaknya rongga pada campuran aspal beton. Oleh karena itu hasil dari pembakaran batu bara ini sangat banyak dan menjadi limbah yang seharusnya bisa dipergunakan untuk itu perlu penelitian agar sisa pembuangan batu bara tersebut menjadi bermanfaat, sebagai salah satu alternatif *filler* tambahan pada campuran aspal beton.

Penggunaan *geopolimer* sebagai salah satu campuran aspal beton yang materialnya terdiri dari abu terbang sisa pembakaran batu bara sebagai bahan campuran *geopolimer*, mempunyai sifat yang keras, tahan terhadap suhu yang tinggi, apabila dicampur dengan pasir atau mineral lain yang dapat bereaksi terhadap campuran perkerasan lentur pada jalan raya. Selain itu juga, *geopolimer* mempunyai sifat porositas, kekerasan, dan kuat terhadap tekan. Material *geopolimer* ini adalah dari jenis *polimer anorganik* disintesis secara *geokimia*, dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Untuk menjadikan material sisa pembakaran batu bara (*fly ash*) menjadi *fly ash geopolimer* harus disenyawakan dengan larutan campuran kimia sebagai bahan aditifnya. Dengan banyaknya ketersediaan abu terbang batubara tersebut sebagai limbah industri kami tertarik untuk menjadikan salah satu bahan campuran aspal beton dengan memodifikasi menjadi *fly ash geopolimer* dengan tambahan bahan aditif lainnya yaitu NaOH.

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah sistem perkerasan jalan dimana konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan. Tiap-tiap lapisan perkerasan pada umumnya menggunakan bahan maupun persyaratan yang berbeda sesuai dengan fungsinya yaitu, untuk menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa

sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar dalam batas daya dukungnya. Lapis permukaan adalah bagian perkerasan terletak paling atas dengan perekat aspal. Lapis permukaan ini berfungsi antara lain : (1) Sebagai bagian perkerasan untuk menahan beban roda kendaraan, (2) Sebagai lapis kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca, dan (3) Sebagai lapis aus (*wearing course*). Jenis perkerasan lentur yang digunakan di Indonesia umumnya menggunakan campuran aspal panas baik untuk pelapisan ulang, pemeliharaan maupun pembangunan jalan baru. Jenis-jenis perkerasan di Indonesia yang mempergunakan campuran aspal panas antara lain: Lapis Aspal Beton (*Laston*) atau AC (*Asphalt Concrete*), Lapis Tipis Aspal Beton (*Lataston*) atau HRS (*Hot Rolled Sheets*) dan Lapis Tipis Aspal Pasir (*Latasir*). Selain jenis campuran diatas, ada juga yang disebut dengan Aspal Geopolimer. Aspal Geopolimer adalah bahan yang digunakan sebagai alternatif pengganti semen agar lebih ramah terhadap lingkungan, karena material yang digunakan tersusun dari sintesa bahan-bahan alam non organik melalui proses polimerisasi, dari pengertian geopolimer diatas dapat diartikan aspal beton geopolimer adalah aspal beton ramah lingkungan yang mengganti semen sebagai fungsi pengikat dengan bahan yang ramah lingkungan. (Davidovits,1991) mengemukakan bahwa aspal beton geopolimer yaitu sebuah senyawa alumino silikat anorganik yang disintesiskan dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lain-lain, yang banyak mengandung silika dan alumunium. Campuran beraspal yang di desain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena campuran aspal beton *geopolimer* menggunakan

agregat yang memenuhi standar spesifikasi dengan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan campuran dengan jenis lainnya. Aspal Beton *Geopolimer* umumnya memiliki nilai stabilitas *Marshall* yaitu kurang dari 500 kg, lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi rapat dengan stabilitas minimum 800 kg. Menurut *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) spesifikasi nilai stabilitas *Marshall* untuk lalu lintas sedang minimum 500 kg, stabilitas *Marshall* akan meningkat bila dalam gradasi terbuka yang digunakan lebih banyak fraksi halus (Cabrera & Hamzah, 1996). Aspal Beton Gepolimer memiliki gradasi dengan agregat tertentu yang didesain setelah dipadatkan mempunyai pori-pori udara berkisar 20 %. (Khalid & Jimenes, 1994). Aspal Beton *Geopolimer* direncanakan untuk mendapatkan ruang rongga yang besar untuk meneruskan aliran air ke saluran samping dan lapisan dasar yang kedap air untuk mencegah air meresap ke lapisan subbase dan badan jalan, sehingga genangan air di atas permukaan jalan yang kurang baik kemiringannya dapat teratasi. Kasus ini seringkali terjadi setelah hujan yang dapat mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Kondisi ini dimungkinkan karena gradasi yang digunakan merupakan gradasi terbuka yang memiliki fraksi agregat kasar tidak kurang dari 85% dari berat total campuran sehingga struktur yang dihasilkan memiliki porositas yang lebih tinggi dan diharapkan memiliki permeabilitas yang tinggi juga. Aspal Beton *Geopolimer* diharapkan dapat juga berfungsi sebagai anti slip sehingga dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas. Porositas yang tinggi dari Aspal Beton *Geopolimer* akan berpengaruh langsung pada umur pelayanan Aspal Beton *Geopolimer*. Sehingga umur pelayanan Aspal Beton *Geopolimer* jauh lebih

pendek dari pada konstruksi perkerasan konvensional. Ini dikarenakan struktur yang lebih berpori atau porositas yang tinggi menyebabkan stabilitasnya kecil (Takahashi et al, 1999). Untuk meningkatkan stabilitas yang lebih tinggi, maka harus menggunakan aspal yang mampu meningkatkan stabilitas aspal dengan *Filler Geopolimer* sebagai salah satu cara mengembangkan perkuatan lentur pada aspal beton. Dalam penelitian ini aspal yang digunakan sebagai bahan perekat susunan material agregat adalah aspal yang mempunyai penetrasi 60/70 yang pada umumnya sering digunakan di Indonesia. Aspal Penetrasi 60/70 sesuai penggunaannya di Indonesia karena iklim di Indonesia memiliki cuaca yang panas dan memiliki volume lalu lintas yang sedang dan tinggi. Dalam pembuatan campuran Aspal Beton *Geopolimer*, agregat merupakan faktor yang sangat penting dalam pembuatan pekerjaan perkerasan lentur. Untuk mencapai umur yang direncanakan dari perkerasan jalan, maka diperlukan mutu dan kualitas material yang memenuhi persyaratan yang ditentukan sesuai spesifikasi yang digunakan. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah material batu pecah sebagai agregat kasar penyusun perkerasan lentur (*Flexible Pavement*). Batu pecah yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari *Quarry* Ujung Batu Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau. Penelitian ini mencoba penggunaan kadar aspal optimum terhadap campuran aspal beton dengan menambahkan kadar *filler geopolimer* terhadap komposisi material yang dipergunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan banyaknya sisa abu terbang (*fly ash*) maka perlu dilakukan penelitian pemanfaatan sisa pembakaran batubara pada campuran aspal geopolimer

dengan mengetahui antara lain:

1. Bagaimana pengaruh reaksi sisa pembakaran abu terbang batubara (*fly ash*) terhadap aspal beton.
2. Bagaimana mengetahui persentase penggunaan *filler geopolimer* dengan tanpa *geopolimer* terhadap perbandingan karakteristik aspal beton .
3. Bagaimana mengetahui persentase penggunaan kadar aspal optimum terhadap campuran aspal beton *geopolimer*.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan bagaimana mendapatkan karakteristik yang baik dalam pemakaian *filler geopolimer* pada aspal beton, untuk perkerasan jalan. Rumusan dalam penelitian tersebut diuraikan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh abu terbang terhadap campuran aspal beton *geopolimer* untuk konstruksi perkerasan aspal *flexible*.
2. Mengetahui karakteristik *Marshall* aspal beton penggunaan abu terbang dan *geopolimer* terhadap Stabilitas, *Flow*, VMA, VIM, dan VFA.
3. Mengetahui persentase penggunaan kadar aspal optimum dengan menggunakan campuran *filler gropolimer*.
4. Mengetahui pengaruh abu terbang terhadap stabilitas *Marshall* karakteristik aspal beton *geopolimer*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pengertian pemakaian *filler geopolimer* dan tanpa *geopolimer* terhadap campuran aspal beton serta kinerjanya.

2. Memberikan pengertian karakteristik campuran aspal beton *geopolimer* terhadap proporsi gradasi material dan hubungannya.
3. Memberikan pengertian penggunaan kadar *filler* dan hubungannya terhadap karakteristik campuran aspal beton *geopolimer*.
4. Memberikan pengertian karakteristik campuran aspal beton *geopolimer* terhadap penggunaan kadar aspal optimum.
5. Memberikan alternatif penggunaan limbah batu bara sebagai bahan tambahan perkerasan jalan lentur.

1.5. Batasan Masalah

Dalam pembahasan penelitian ini, diberikan batasan - batasan masalah pembahasan sebagai berikut :

1. Aspal yang dipakai adalah aspal yang mempunyai penetrasi 60/70.
2. Lapisan aspal yang ditinjau adalah Aspal Beton Lapis Antara (AC-BC).
3. NaOH yang mempunyai molaritas 8 M dengan perbandingan berat larutan 1,5. dipakai sebagai aktivator menjadikan *fly ash* batu bara menjadi geopolimer.
4. Gradasi agregat untuk perkerasan lentur (*flexible pavement*) menggunakan campuran berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010.
5. Material yang dipakai sebagai bahan penelitian adalah material berasal dari *Quarry* Ujung Batu Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau.
6. Tidak meninjau jenis-jenis agregat yang dipergunakan dalam penelitian ini.
7. Tidak meninjau biaya-biaya pemakaian terhadap material yang dipergunakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Dalam melaksanakan penelitian dan penulisan ini dipergunakan metoda atau tinjauan pustaka dan studi-studi terdahulu yang pernah dilakukan sebelumnya dengan berbagai dasar teori yang menguatkan dalam penelitian ini dan sebagai referensi yang bisa menambah/mempedomani sehingga menghasilkan penelitian yang tepat sasaran dan bermanfaat serta akurat.

2.2. Peneliti Terdahulu

Ahyudanari, Ervina, Ekaputri, dan Jaya (2018) telah melakukan penelitian Analisis Pengaruh Kadar *Filler Geopolimer* terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. Tujuan penelitian mengetahui pemakaian kadar aspal optimum dan keterkaitannya dengan *filler geopolimer* serta mengkaji analisis gradasi agregat sebagai upaya perbaikan karakteristik campuran aspal beton. Adapun metoda penelitian dengan cara menganalisa di laboratorium dengan metoda *Marshall Test*. Dengan hasil pengujian menunjukkan penambahan *filler* dapat meningkatkan stabilitas dan memperkecil rongga campuran.

Aditama (2017) telah melakukan penelitian Analisa Gradasi Agregat sebagai upaya perbaikan Karakteristik Campuran Aspal Beton *Geopolimer*. Tujuan penelitian adalah menunjukkan bahwa *filler geopolimer* dapat meningkatkan stabilitas namun disisi lain dapat memperbanyak rongga-rongga

pada campuran. Metoda penelitian dengan cara menganalisa di Laboratorium dengan hasil diperoleh memenuhi spesifikasi dan dengan menambah *filler* dapat memperkecil rongga campuran dan meningkatkan stabilitas.

Satria, Sugiarto, Antoni dan Hardjito (2016) telah melakukan penelitian mengenai Karakteristik Beton Geopoilimer berdasarkan variasi waktu pengambilan *Fly Ash*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbedaan karakteristik perbedaan tiap-tiap *Fly Ash* dan karakteristik beton geopolimer dengan mix disain yang sudah ditentukan. Metoda yang digunakan adalah dengan cara menganalisa di Laboratorium dengan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ukuran partikel nilai pH dan andungan kimia *Fly Ash* turut mempengaruhi dalam setting time dan kuat tekan beton.

Ikomudin, Herbudiman dan Irawan (2016) dengan penelitian Ketahanan Beton Geopolimer berbasis *Fly Ash* terhadap Sulfat dan Klorida. Tujuan penelitian mengetahui ketahanan beton geopolimer yang berbasir *Fly Ash* sebagai bahan pengganti semen jika berada pada lingkungan korosif dan mengetahui sifat fisis pada beton *geopolimer*. Adapun metode dan cara penelitian dengan cara analisa di laboratorium dengan hasil yang dicapai adalah agregat yang digunakan untuk pembuatan beton geopolimer harus diperiksa apakah tahan terhadap larutan Kimia karena mengakibatkan kekuatan yang dimiliki berkurang dan perendaman beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tidak dapat bertahan terhadap serangan asam sulfat dan klorida sebesar 10 %.

2.3. Keaslian Penelitian

Penelitian ini ada kemiripan dengan penelitian yang dilakukan oleh

Aditama (2017) dan Ahyudanari, Ervina, Ekaputri & Jaya (2018) namun pada penelitian ini bahan material yang digunakan yang berasal dari material setempat yaitu *Quarry* Ujung Batu Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau dan abu batu bara yang dipakai adalah sisa pembakaran abu batu bara (*Fly Ash*) dari PLTU Tenayan Raya Pekanbaru dan Batu Bara yang dipergunakan untuk pembangkit PLTU tersebut berasal dari Tambang Batu Bara Ombilin Sumatera Barat.

Adapun sebagai dasar tinjauan dalam penelitian ini penggunaan persentase *filler geopolimer* dan tanpa *geopolimer*, pemakaian kadar aspal optimum dan keterkaitannya pada campuran aspal beton *geopolimer* terhadap gradasi agregat.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir sebagai bahan lapisan dibawahnya.

Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai fleksibilitas/kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas diatasnya. Perlu dilakukan kajian yang lebih intensif dalam penerapannya dan harus juga memperhitungkan secara ekonomis, sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga konstruksi jalan yang direncanakan itu adalah yang optimal.

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh perkerasan jalan terhadap campuran antara lain (Spesifikasi Teknik Bina Marga, 2010) :

1. Kemampuan memikul beban (struktural) :
2. Kemampuan terhadap keausan (non struktural):

Komponen Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) terdiri atas:

1. Tanah Dasar (*sub grade*)

Tanah Dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-

sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

2. Lapis Pondasi Bawah (*sub base course*)

Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain:

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
- b. Sebagai efisiensi pemakaian material yang relatif murah lapisan-lapisan berikutnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi)
- c. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- d. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- e. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda alat-alat besar atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

Berbagai macam tipe tanah setempat ($CBR > 20\%$, $PI < 10\%$) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland dalam beberapa hal dianjurkan untuk kestabilan tanah dasar yang efektif terhadap konstruksi perkerasan.

3. Lapis Pondasi (*base course*)

Lapis Pondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

Fungsi lapis pondasi antara lain:

- a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik.

Berbagai macam bahan alam / bahan setempat ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

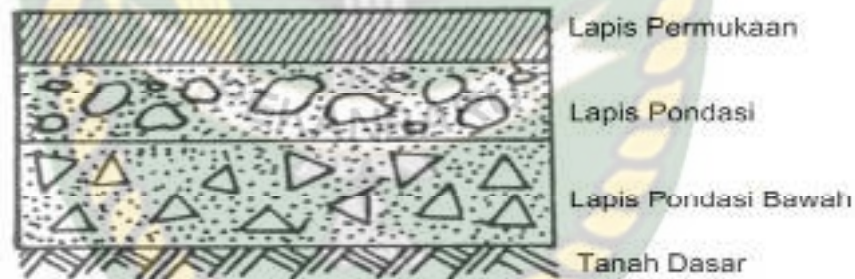
4. Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan antara lain:

- a. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda

- b. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan. Adapun susunan lapis konstruksi perkerasan lentur terdiri dari:



Gambar 3.1. Struktur Lapis Perkerasan Jalan (Sukirman,2003)

3.2. Material

Material jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani dan menopang beban lalu lintas. Material agregat yang dipakai dalam perkerasan jalan adalah batu pecah, batu belah, batu kali, melalui gradasi penyaringan sehingga berbentuk fraksi kasar dan halus. Agregat yang sudah melalui proses gradasi adalah merupakan bahan utama dari campuran

beberapa material, berdasarkan spesifikasi yang sudah ditentukan untuk dijadikan sebagai bahan penyangga konstruksi jalan dengan ketentuan jumlah dari suatu lapisan perkerasan sekitar 90 % atau 75-80 dari total berat campuran.

3.2.1. Agregat Kasar

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Berdasarkan ASTM C33 Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah dengan partikel butir lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm. Persyaratan ketentuan agregat kasar ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Ketentuan Agregat Kasar (Bina Marga,2010)

Pengujian		Nilai	Standar
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		Maks. 12%	SNI 3407:2008
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Maks. 30%	Campuran AC bergradasi kasar	Maks. 30%
	Maks. 40%	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		Min. 95%	SNI 03-2439-1991
Angularitas (Kedalaman dari permukaan < 10 cm)		95/90 ¹	DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No. 621
Angularitas (Kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		80/75 ¹	
Partikel Pipih dan Lonjong		Maks. 10%	ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5
Material lolos Ayakan No. 200		Maks.21%	SNI 03-4142-1996

3.2.2. Agregat Halus

Agregat halus didefinisikan sebagai agregat yang lolos saringan no.8 (2,38 mm) dan tertahan saringan no. 200 (0,074 mm).

Agregat halus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam, dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dalam keadaan kering. Syarat dan ketentuan agregat halus menurut Bina Marga bisa dilihat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Ketentuan Agregat Halus (Bina Marga,2010)

Pengujian	Nilai	Standar
Nilai setara pasir	Min. 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min. 70% untuk AC bergradasi Kasar	SNI 03-4428-1997
Material Lolos Ayakan No. 200	Maks. 8%	SNI 03-4428-1997
Kadar Lempung	Maks. 1%	SNI 3423:2008
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	Min. 45	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93
Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)	Min. 40	

3.2.3. *Filler*

Filler adalah bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan no. 200 (0,074 mm) bisa berupa kapur, debu batu, atau bahan lain, dan harus dalam keadaan kering (kadar air maksimal 1%). Mineral pengisi (*filler*) di dalam campuran aspal panas konstruksi bangunan jalan, bukan hanya mengisi celah rongga diantara agregat, tapi juga untuk meningkatkan kestabilan dari aspal dan apabila dicampur dalam jumlah yang tepat dapat mengurangi kekakuan campuran aspal panas dalam cuaca dingin.

Syarat dan ketentuan *filler* menurut Bina Marga bisa dilihat dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Ketentuan Filler (Bina Marga,2010)

Sifat-sifat	Persyaratan	Metoda Pengujian
Berat butiran yang lolos ayakan 75 mikron	$\geq 75 \%$	SNI 03-4142-1996

3.2.4. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir agregat koral . Gradasi agregat dan berpengaruh pada besarnya rongga dalam campuran serta menentukan workabilitas (kemudahan dalam pekerjaan) serta kekuatan suatu campuran. Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan, dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawat dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi pesegi dari saringan tersebut. Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

Gradasi seragam (*uniform graded*)

1. Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran butir yang hampir sama. Gradasi seragam ini disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi

(*well graded*). Campuran beraspal dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran beraspal dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari keadaan campuran dengan gradasi yang disebutkan di atas.

Persyaratan proporsi penggunaan agregat pada konstruksi jalan ditunjukkan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Ketentuan Butiran Agregat (Bina Marga,2010)

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Lolos Saringan
1" (25,4 mm)	100
3/4" (19,1 mm)	90 - 100
1/2" (12,7 mm)	75 - 90
3/8" (9,25 mm)	66 - 82
No. 4 (4,76 mm)	46 - 64
No. 8 (2,38 mm)	30 - 49
No. 16 (1,38 mm)	18 - 38
No. 30 (0,59 mm)	12 - 28
No. 50 (0,27 mm)	7 - 20
No. 100 (0,149 mm)	5 - 13
No. 200 (0,074 mm)	4 - 8

3.3. Aspal

Aspal adalah bahan hidro karbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan visioelastis. Aspal sering juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal berasal dari alam atau dari pengolahan minyak bumi. Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang

merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal tampak padat pada suhu ruang padahal adalah cairan yang sangat kental. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks, dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh, dan tak jenuh, alifatik, dan aromatic yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Biasanya aspal mengandung 5 sampai 25% aspalten. Sebagian besar senyawa di aspal adalah senyawa polar. Syarat dan ketentuan aspal penetrasi 60/70 bisa dilihat pada Tabel.3.5.

Tabel 3.5. Ketentuan Aspal Penetrasi 60/70 (Bina Marga,2010)

No	Jenis Pengujian	Aspal Pen 60/70	Metoda Pengujian
1	Penetrasi pada 25°C (dmm)	60 - 70	SNI 06-2456-1991
2	Viskositas 135°C (cSt)	385	SNI 06-6441-2000
3	Titik Lembek (°C)	≥ 48	SNI 06-2434-1991
4	Indeks Penetrasi ⁴⁾	≥ -1,0	-
5	Duktilitas pada 25°C (cm)	≥ 100	SNI 06-2432-1991
6	Titik Nyala (°C)	≥ 232	SNI 06-2433-1991
7	Kelarutan dalam Toluene (%)	≥ 99	ASTM D5546
8	Berat Jenis	≥ 1,0	SNI 06-2441-1991
9	Stabilitas Penyimpanan (°C)		ASTM D 5976 part 6.1
10	Berat yang Hilang (%)	≤ 0.8	SNI 06-2441-1991
11	Penetrasi pada 25°C (%)	≥ 54	SNI 06-2456-1991
12	Indeks Penetrasi ⁴⁾	≥ -1,0	
13	Keelastisan setelah pengembalian (%)	-	AASHTO T 301-98
14	Duktilitas pada 25°C (cm)	≥ 100	SNI 062432-1991

3.4. Aspal Beton

Aspal Beton (*Hotmix*) adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material - material

pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal apa yang akan digunakan (Silvia Sukirman, 2003). Dalam pencampuran aspal harus dipanaskan untuk memperoleh tingkat kecairan (viskositas) yang tinggi agar dapat mendapatkan mutu campuran yang baik dan kemudahan dalam pelaksanaan. Pemilihan jenis aspal yang akan digunakan ditentukan atas dasar iklim, kepadatan lalu lintas dan jenis konstruksi yang akan digunakan. Dengan komposisi yang diteliti dan diatur oleh spesifikasi Teknis Bina Marga seperti ditunjukkan pada Tabel.3.6.

Tabel 3.6. Ketentuan Campuran Aspal Beton (Bina Marga,2010)

Sifat-sifat Campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Lapis Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukkan per bidang		75			112 ⁽²⁾		
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800 ⁽¹⁾	
	Mak.	-				-	
Pelelehan (mm)	Min.	3				4,5 ⁽¹⁾	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah Perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min.	90					
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.	2,5					

3.4.1. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton adalah :

1. Stabilitas

Adalah suatu lapisan pekerjaan jalan mempunyai kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding.

2. Durabilitas (Keawetan/DayaTahan).

Durabilitas pada lapis permukaan diperlukan untuk dapat menahan keausan yang terjadi akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan yang diakibatkan oleh gesekan roda kendaraan. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi menurunnya sifat durabilitas suatu campuran (lapisan aspal) adalah air.

3. Fleksibilitas (Kelenturan).

Adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

4. Tahanan geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan.

5. Kedap air.

Kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan

aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

6. Kemudahan pekerjaan (*Workability*).

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain. Ketujuh sifat campuran aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi.

7. Ketahanan kelelahan (*Fatigue Resistance*).

Fatigue Resistance (Ketahanan Kelelahan) Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak.

3.4.2. Pengujian *Marshall* dan Volumetrik Aspal Beton.

Pengujian dengan alat *Marshall* dilakukan sesuai prosedur bina marga. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau stabilitas terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran Aspal. Hubungan antara ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastisitas (*flow*) adalah berbanding lurus, semakin besar *flow*-nya, dan begitu juga sebaliknya, Dan jika *flow* semakin tinggi maka aspal semakin mampu menahan beban. Dari hasil pengamatan pengujian *Marshall* kemudian dibuat Grafik hubungan antara persentase kadar aspal dengan persentase rongga terisi (VFA), persentase rongga dalam campuran (VIM), kelelahan (*flow*), stabilitas dan perbandingan antara stabilitas dan kelelahan (MQ).

Berikut ini dijelaskan secara spesifik dari maksud tersebut diatas :

a. Void Filled With Asphalt (VFA)

VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA), sehingga antara nilai VMA dan VFA mempunyai kaitan yang sangat erat. Faktor-faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energy pemadat (jumlah dan temperature pemadatan) dan absorsi agregat. Mengecilnya nilai VMA pada kadar aspal yang tetap, berakibat memperbesar persentase rongga terisi aspal.

b. Void In The Mix (VIM)

VIM menunjukkan persentase rongga dalam campuran, nilai VIM mempengaruhi terhadap keawetan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous.

c. Kelelehan (*Flow*)

Adalah deformasi vertical yang terjadi mulai dari awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Besarnya nilai *flow* dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai flow dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperature pemadatan.

d. 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 atau penetrasi aspal, kadar aspal, gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*interlocking*) dari partikel-partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan serta gradasi agregat.

e. *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil.

3.5 Geopolimer

Geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Sebagai terobosan baru, kini berhasil ditemukan jenis material beton baru "*Geopolimer*" yang konon lebih ramah lingkungan. Karena, material ini tersusun dari sintesa bahan-bahan alam non organik melalui proses polimerisasi.

Bahan dasar utama pembuatan beton geopolimer, adalah bahan yang banyak mengandung silikon dan aluminium. Unsur-unsur ini, diantaranya banyak terdapat pada material buangan hasil sampingan industri, seperti abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran batu bara.

3.5.1. Penggunaan *Geopolimer*

Selama ini, karena ukuran partikelnya yang kecil dan mudah berterbangan di udara, abu terbang lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan timbunan. Kalau penimbunannya dilakukan sembarangan, akan berpotensi mengancam kelestarian lingkungan. Karena, partikel partikel logam berat yang dikandungnya dengan

mudah larut mencemari sumber-sumber air. Untuk melarutkan unsur-unsur silikon dan alumunium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan bersifat alkalis. Material geopolimer ini jika digabungkan dengan agregat batuan, akan menghasilkan beton geopolimer tanpa perlu semen lagi. Dari hasil riset yang telah dilakukan selama ini menunjukkan, bahwa aspal beton *geopolimer* memiliki sifat-sifat teknis, seperti kekuatan dan keawetan yang tinggi.

3.5.2. Material Penyusun *Geopolimer*

Menurut Ilmiah R (2017) *geopolimer* merupakan produk beton yang reaksi pengikatannya adalah reaksi *polimerisasi*. Dalam reaksi *polimerisasi* ini Alumunium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan *polimerisasi* karena reaksi aluminium dan silika dengan alkali akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 . Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk struktur yang disebut polysialate (Si-O-Al-O-Si). Pada aspal beton geopolimer, silika dan alumina pada *fly ash* bereaksi dengan cairan alkali untuk membuat pasta geopolimer yang mengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan-bahan lain untuk membuat aspal beton *geopolimer*. Binder akan mengalami proses polimerisasi dan akan mengeras. sedangkan untuk total aktivator dan prekursor 20-35%. Aktivator pada aspal beton *geopolimer* dalam penelitian ini berupa *Natrium Hidroksida* (NaOH) yang berguna untuk mereaksikan binder dengan senyawa yang terdapat dalam *fly ash* dan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang berguna untuk mempercepat proses polimerisasi, sedangkan prekursornya adalah *fly ash*.

3.5.3. Persiapan Bahan *Geopolimer*

Bahan utama untuk membuat *filler geopolimer* dijelaskan dibawah ini :

1. Abu Terbang sisa pembakaran Batu Bara (*Fly Ash*)

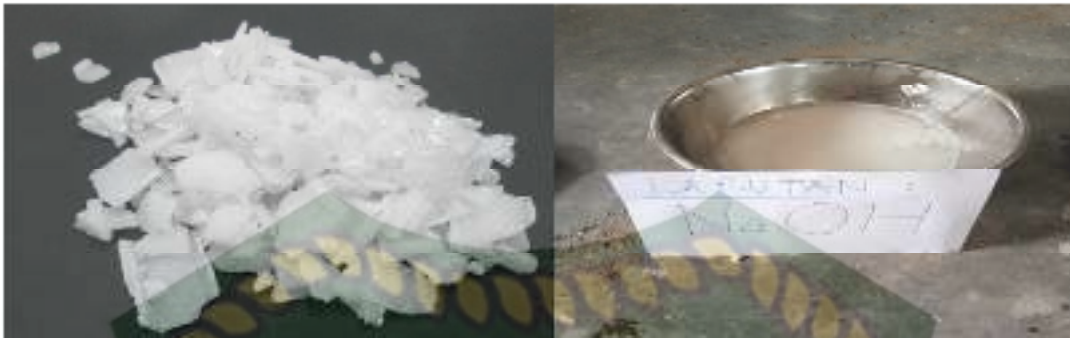
Material ini bahan yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air (Himawan dan Darma 25). Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, sulfur, dalam jumlah yang kecil. *Fly ash* sebagai salah satu unsur bahan geopolimer bisa dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Sisa Pembakaran Abu Batubara (*Fly Ash*)

2. Aktivator

Natrium Oksida (NaOH) sebagai bahan aktivator campuran fly ash yang digunakan untuk reaksi polarisasi geopolimer berbentuk padat dengan kadar kemurnian 98%. *Natrium Oksida* dilarutkan dengan air terlebih dahulu sehingga menjadi larutan NaOH . Jenis Alkali activator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Natrium Hidrosida (NaOH). Berikut ini NaOH yang sudah menjadi larutan dan dalam bentuk padat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. NaOH

3. Rancangan Larutan *NaOH*

Larutan sodium hidroksida yang digunakan yaitu larutan NaOH 8 M. Cara membuat 1 liter larutan NaOH 8 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$n = M \times v = 1 \text{ liter} \times 8 \text{ mol/liter} = 8 \text{ mol}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

v = volume larutan

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

$$\text{Massa NaOH} = n \text{ mol} \times M_r = 8 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} = 320 \text{ gram}$$

2. Menimbang NaOH seberat 480 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000 cc/liter
4. Menambahkan air ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.

3.5.4. Rancangan Campuran *Geopolimer*

Rancangan campuran *geopolimer* untuk mendapatkan komposisi yang sesuai dengan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini, dijelaskan sebagai berikut beserta urutan pembuatan filler campuran aspal beton yang akan diteliti. Sedangkan rancangan pembuatan *filler geopolimer* ditunjukkan pada gambar 3.4. dibawah ini :



Gambar 3.4. Pembuatan *Geopolimer*

Langkah-langkah persiapan pembuatan campuran aktivator dengan *fly ash* yaitu:

1. Menyiapkan larutan NaOH 8 M
2. Menyediakan bahan *fly ash*
3. Menakar 40 % larutan NaOH dalam gelas ukur
4. Menimbang *filler fly ash* 75% dari larutan NaOH
5. Memasukkan *fly ash* kedalam bejana cekung campurkan larutan NaOH lalu di aduk sampai merata.
6. Selanjutnya disimpan di wadah yang tertutup ditempat yang lembab selama 28 hari mengendap.
7. Setelah mencapai umur 28 hari endapan geopolimer tersebut ditumbuk lalu disaring dan diayak lolos saringan no.200.

8. Selanjutnya siap dipergunakan sebagai *filler geopolimer* pada campuran aspal beton yang direncanakan pada penelitian ini.

3.5.5. Rancangan campuran aspal Beton Geopolimer

Untuk selanjutnya membuat benda uji dalam rancangan aspal beton geopolimer dengan proses sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan kebutuhan untuk campuran berupa material kasar, halus, aspal dan filler geopolimer.
2. Menyiapkan material kebutuhan sesuai proporsi per fraksi setelah melalui gradasi, menimbang lalu dimasukan kedalam wadah.
3. Menyiapkan keperluan alat pengorengan, dan alat pencampur aspal serta thermometer suhu untuk mengukur temperatur dalam proses pengadukan aspal dengan material yang sudah disiapkan.
4. Menyiapkan kompor yang sudah menyala lalu memasukan material yang sudah disiapkan per fraksi jenis agregat kedalam wajan sampai temperatur 130° C.
5. Memanaskan aspal sampai mencapai temperatur 140°C-160°C, lalu memasukan aspal kedalam wajan sampai material tersebut tercampur merata pada temperatur 120°C-150°C sesuai proporsi kadar aspal yang direncanakan.
6. Material yang sudah tercampur merata dengan aspal yang ada dalam wajan lalu dimasukan ke Mold seterusnya dirojek - rojok sebanyak 25 kali, dipadatkan dengan menumbuk sebanyak 2 x 75 kali terhadap bagian atas dan bagian bawah dengan temperatur pemadatan 110°C-130°C.

7. Mengeluarkan campuran aspal tersebut yang sudah dipadatkan dan mendinginkannya sesaat setelah itu siap dilakukan pengujian sesuai kebutuhan yang sudah ditentukan.

3.6. Analisa Data

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini melakukan pengujian karakteristik penggunaan *filler fly ash* batu bara dengan *filler geopolimer* terhadap kinerja aspal beton yang dilakukan dengan empat kriteria yaitu :

1. Menganalisa hubungan variasi gradasi agregat terhadap karakteristik campuran aspal beton.
2. Menganalisa hubungan variasi *filler* agregat terhadap karakteristik campuran aspal beton.
3. Menganalisa hubungan *filler geopolimer* terhadap campuran aspal beton.
4. Menaganalisa hubungan *filler fly ash* batu bara terhadap campuran aspal beton.

Dari analisa tersebut diketahui Stabilitas, *Flow*, VIM, VFA, VMA, *Marshal Quotient* (MQ) dan *Bulk Density* dari keempat analisa yang diuji yaitu: hubungan variasi gradasi agregat, hubungan variasi pemakaian *filler* terhadap gradasi agregat, komposisi pemakaian *filler geopolimer* dan komposisi pemakaian *filler fly ash* batu bara terhadap karakteristik campuran aspal beton.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Umum

Dalam penelitian ini digunakan metode percobaan di laboratorium dengan sistim pencampuran aspal panas AC-BC dengan panduan yang merupakan dasar dari kontruksi jalan aspal beton. Adapun standar pengujian yang digunakan sebagai dasar dan ketentuan dalam penelitian ini yaitu standar atau peraturan dari Bina Marga berupa spesifikasi Umum Bina Marga (2010).

Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian material sebagai bahan kebutuhan untuk campuran aspal beton seperti koral batu pecah (agregat kasar) dan pasir (agregat halus), abu batu (*filler*) dan material lainnya yang menjadi satu kesatuan dalam campuran tersebut. Pengujian agregat dilakukan sesuai metoda standarisasi spesifikasi Bina Marga yaitu pemeriksaan berat jenis material, pengujian tingkat abrasi, kelekatan aspal, indeks kepipihan dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal yang dipakai sebagai bahan perekat pada percobaan ini yaitu aspal yang mempunyai penetrasi 60/70 dengan Metoda Marshall. Adapun hasil dari pengujian Marshall untuk mengetahui penggunaan kadar aspal optimum, rongga udara yang terjadi pada campuran dan untuk mengetahui ukuran ketahanan campuran aspal beton menahan beban lentur stabilitas, kelelahan. Dari pengujian ini sekaligus dapat diukur lendutan maksimum yang bisa ditahan, serta proses penjalaran retak sebelum benda uji mengalami keruntuhan.

4.2. Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum melakukan pengujian semua bahan yang mau diuji dipersiapkan, berikut alat-alat untuk tahapan-tahapan pengujian di sediakan di laboratorium agar memudahkan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian. Setelah semua alat-alat untuk pengelasan dan bahan tersedia semua, terlebih dahulu alat-alat tersebut dicek dan dikalibrasi sesuai fungsi dari masing-masing pengelasan yang akan dilakukan di laboratorium.

4.2.1 Persiapan bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari setiap bahan kebutuhan material yang akan diuji, sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan perkerasan campuran aspal beton berdasarkan spesifikasi Bina Marga untuk pekerjaan jalan raya. Adapun kebutuhan material yang akan diperlukan dalam penelitian ini dipakai dari material yang ada di stock file yang tersedia di PT. Bina Pembangunan Adi Jaya yaitu:

- a. Agregat kasar dan Agregat halus berasal dari Quarry Kota Ujung Batu Kecamatan Rambah hasil stone crusher PT. Bina Pembangunan Adi Jaya Provinsi Riau sedangkan Fly Ash dari sisa pembakaran Batu Bara PLTU Tenayan Raya Pekanbaru, Riau.
- b. Aspal minyak dari stock gudang Laboratorium PT. Bina Pembangunan Adi Jaya AMP Ujung Batu produksi PT. Pertamina penetrasi 60/70.
- c. Abu Terbang diperoleh dari sisa pembakaran batubara PLTU Tenayan Raya di Pekanbaru.
- d. *NaOH* diperoleh dari Toko bangunan yang ada menjual di kota Pekanbaru.

4.2.2. Persiapan alat

Kegiatan persiapan adalah sebagai awal sebelum dimulainya pengetesan-pengetesan yang dilakukan dalam penelitian ini. Yang bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian dari seluruh material dan benda uji yang diperiksa sesuai dengan sifat dan karakteristik masing-masing material tersebut didalam setiap fungsi yang ada pada campuran aspal beton perkerasan jalan raya.

Adapun alat-alat yang dipersiapkan seperti saringan untuk mengetahui hasil, gradasi dari masing-masing material yang dipergunakan pada campuran aspal beton. Alat-alat yang akan dipergunakan dalam pengetesan ini seperti Saringan gradasi, Ekstraksi aspal, Mesin Los Angeles semuanya tersedia pada Laboratorium Aspal milik PT. Bina Pembangunan Adi Jaya AMP Ujung Batu dan sudah melalui proses kalibrasi.

4.3 Tahapan Penelitian.

Agar tahapan dari penelitian ini terstruktur maka dibuat tahapan-tahapan kerjanya sebagai berikut :

1. Pekerjaan Persiapan.

Pekerjaan persiapan adalah mempersiapkan alat dan material, abu terbang batu bara (*fly ash*) serta bahan aktivator untuk geopolimer dan benda uji lainnya.

2. Pengujian Bahan

Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan abrasi, pemeriksaan terhadap kelekatan aspal, index kepipihan dan penyerapan air. Pengujian aspal termasuk pengujian penetrasi, titik lembek,

titik nyala, titik bakar, kehilangan berat, daktalitas, berat jenis dan pengujian variasi kadar aspal, variasi kadar abu terbang (*fly ash*) dan *geopolimer*.

3. Pembuatan Benda Uji

- a. Melakukan penimbangan agregat sesuai dengan prosentase gradasi yang diinginkan untuk masing-masing benda uji dengan berat campuran 1200 gram, kemudian dilakukan pengeringan agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu 165 °C.
- b. Agregat dipanaskan di oven dengan suhu 165°C, sedangkan aspal dipanaskan dengan suhu 155 °C, kemudian aspal dicampur dengan agregat dengan dan diaduk merata sampai mendapatkan suhu 160°C.
- c. Setelah suhu pencampuran tercapai, lalu campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang sebelumnya diolesi oli terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali di bagian tepi dan 10 kali di bagian tengah.
- d. Pembuatan benda uji yang dibutuhkan sesuai dengan variasi kadar aspal yang digunakan dari kadar aspal 4,5%, 5,%, 5,5% dan 6,0% masing-masing terdiri dari 3 benda uji dari masing-masing variasi penggunaan *filler fly ash* dan *geopolimer* serta masing-masing variasi hasil gradasi atas, tengah dan bawah terdiri dari 3 benda uji.
- e. Dilakukan pemadatan bolak balik dengan menumbuk dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali.
- f. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun,

setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi tanda.

- g. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang berat benda uji kering.
- h. Benda uji dimasukkan ke dalam air bersuhu 25°C selama 5 menit dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- i. Benda uji dikeluarkan dari bak dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.
- j. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu 60 °C selama 30 menit.
- k. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan diberi lapisan plastik agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- l. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, lalu diletakkan tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian bagian atas kepala diletakkan dengan memasukkan lewat batang penuntun. Setelah pemasangan sudah lengkap maka diletakkan tepat di tengah alat pembebanan. Kemudian arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada dudukan di atas salah satu batang penuntun.

4. Pemeriksaan *Marshall Test*

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Metode Marshall

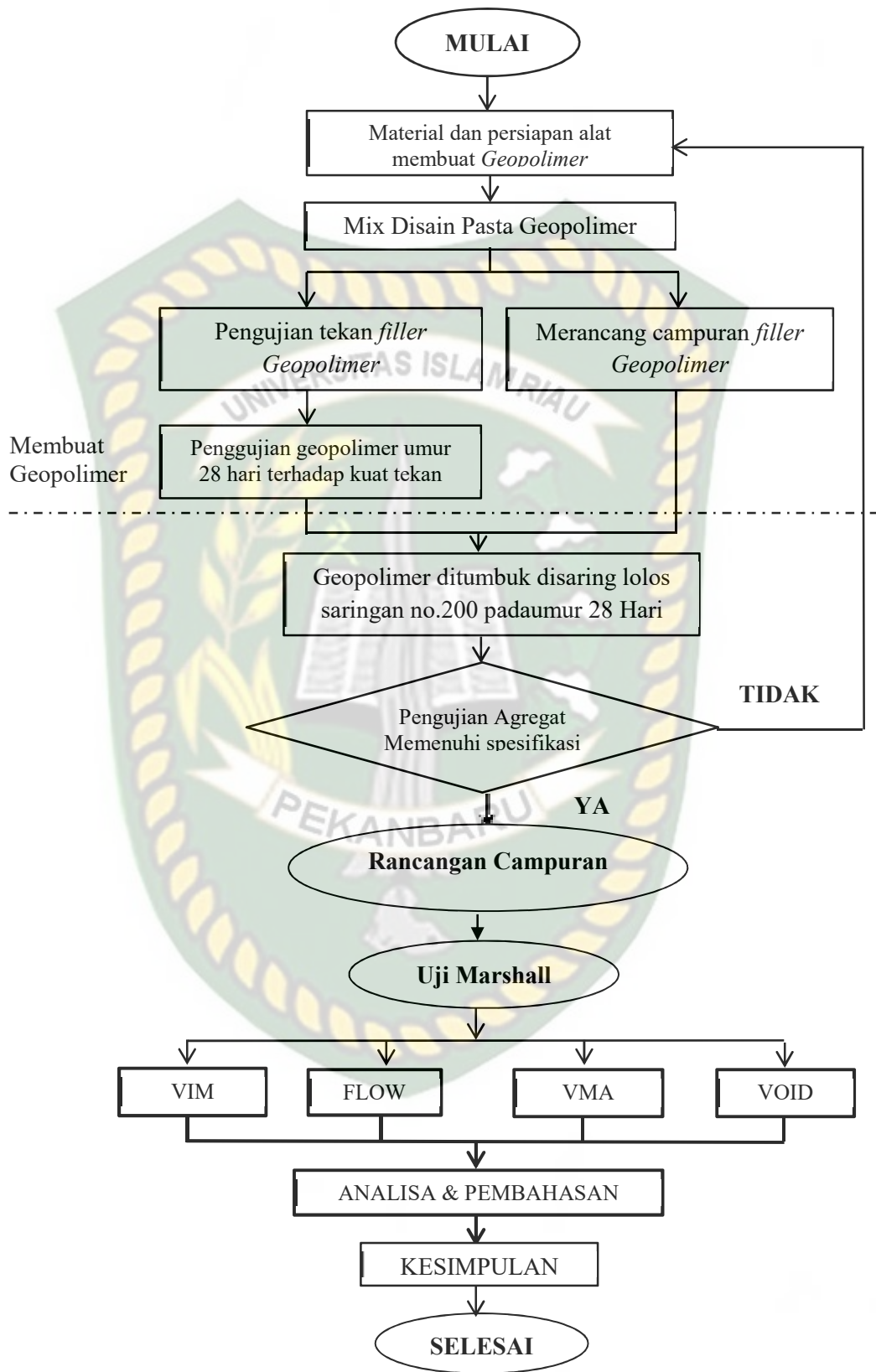
dikembangkan untuk rancangan campuran aspal beton. Pengujian terakhir adalah berupa uji rendaman *Marshall* atau uji *Immersion* untuk menentukan nilai stabilitas dan indeks kekuatan sisa (IKS), yaitu pengujian yang dilakukan dengan cara menimbang benda uji dan perhitungan pengujian volumetrik.

5. Pemeriksaan Volumetrik *Marshall*

Sedangkan pengujian volumetrik adalah pengujian yang dilakukan dengan cara menimbang benda uji dan perhitungan. Penimbangan dilakukan dengan menimbang benda uji di udara, di dalam air, dan kondisi jenuh air.

6. Hasil dan Kesimpulan

Hasil dan Kesimpulan merupakan kesimpulan dari hasil pengujian/suatu pembahasan mengenai penelitian disajikan berupa hasil-hasil dari pelaksanaan suatu kajian ilmiah yang sudah dilaksanakan melalui proses dan tahapan penelitian. Adapun bagan alir dari penelitian ini dapat dilihat seperti Gambar 4.3. dibawah ini.



Gambar 4.3. Bagan Alir Penelitian

4.4. Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan terhadap material dilakukan sebelum dipergunakan sesuai dengan kriteria spesifikasi yang ditentukan Adapun tahapan dari pemeriksaan mulai dari gradasi agregat kasar, agregat halus, *filler* dan pemeriksaan aspal penetrasi 60/70. Setelah semua pengujian material dilakukan dan memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi dilanjutkan dengan pengujian-pengujian yang berkaitan dengan campuran aspal beton geopolimer.

4.4.1 Pengujian sifat bahan

Pengujian sifat bahan bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan material yang dipergunakan untuk di test sesuai dengan jenis dan kelompok material dalam kebutuhan campuran aspal beton pada penelitian ini berdasarkan kebutuhan dan spesifikasi Bina Marga yang sudah ditentukan.

4.4.2. Sifat-Sifat Bahan Agregat.

Sifat dan bahan agregat dalam pengetesan perlu dilakukan berdasarkan aturan pengguna bahan-bahan material menurut jenis dan kriteria serta fungsi dari material yang diperlukan. Adapun pengujian sifat bahan ini secara umum dilakukan untuk mengetahui yaitu :

1. Gradasi dan ukuran agregat.
2. Ketangguhan dan Ketahanan dari Abrasi.
3. Ketahanan dan Kesehatan dari setiap material Agregat
4. Bentuk partikel dan tekstur permukaan dari agregat.
5. Berat jenis dari masing-masing agregat.

Untuk pengujian dan pengetesan dari bahan-bahan tersebut dilakukan harus

memenuhi spesifikasi berdasarkan ketentuan di Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Ketentuan Pengujian Agregat (Bina Marga,2010)

No	Pengujian	Persyaratan	Metoda
1	Penyerapan air	≤ 3 %	SNI 03-1969-1990
2	Berat jenis bulk	≥ 2.5 gr/cc	SNI 03-1070-1990
3	Berat jenis semu	-	SNI 03-1969-1990
4	Berat jenis efektif	-	SNI 03-1969-1990
5	Keausan /Los Angeles Abration Test	≤ 40 %	SNI 03-2417-1991
6	Kelekatan agregat terhadap aspal	≥ 95%	SNI 03-2439-1991
7	Partikel pipih dan lonjong	Maks 10 %	ASTM D-4791
1	Penyerapan air	≤ 3 %	SNI 03-1970-1990
2	Berat jenis bulk	≥ 2.5 gr/cc	SNI 03-1970-1990
3	Berat jenis semu	-	SNI 03-1970-1990
4	Berat jenis efektif	-	SNI 03-1970-1990
5	Sand equivalent	-	SNI-03-4428-1997
1	Berat jenis	≥ 1 gr/cc	SNI 15-2531-991

4.4.3. Pengujian bahan Aspal

Untuk pengetasan jenis aspal yang dipakai adalah aspal yang memiliki penetrasi 60/70 termasuk kedalam jenis aspal keras. Adapun jenis aspal yang memiliki penetrasi 60/70 tersebut lazim dipakai pada suhu atau iklim tropis yang memiliki suhu tinggi. Kriteria pengujian atau pengetasan bahan material aspal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Ketentuan Persyaratan Aspal Pen.60/70 (Bina Marga, 2010)

Jenis Aspal	Pen. 60/70	Metode
Penetrasi (25 ^o C, 100gr, 5 det)	60-79	SNI 06-2456-1991
Titik Lembek; ^o C	48-58	SNI 06-2434-1991
Titik Nyala; ^o C	Min.200	SNI 06-2433-1991
Daktalitas (25 ^o C, 5cm/men,cm)	Min.100	SNI 06-2432-1991
Berat Jenis	Min.1,0	SNI 06-2441-1991
Kelarutan dalam Triclorilor Etylen; % Berat	Min.99	SNI 06-2438-1991
Penurunan berat (dengan TFOT); % Berat	Max.0,8	SNI 06-2440-1991
Penetrasi setelah Penurunan berat, % asli	Min.54	SNI 06-2456-1991
Daktalitas setelah Penurunan berat, % asli	Min.50	SNI 06-2432-1991

4.4.4. Persiapan dan Penentuan Benda Uji.

Penentuan benda uji dan persiapan dari seluruh pengtesan sudah melalui tahapan pengujian dari masing-masing fungsi material dan agregat yang dipergunakan capuran aspal beton pada penelitian ini. Semua bahan yang di uji diberi tanda agar tidak tercampur dengan benda uji lainnya dengan komposisi atau proporsi masing-masing benda uji tersebut. Kriteria dari masing-masing penentuan jumlah benda uji untuk setiap jenis campuran aspal beton dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Ketentuan Persyaratan Benda Uji (Bina Marga,2010)

1. Pengujian Kadar Aspal Optimum		
Kadar Aspal Persen		Jumlah Benda Uji
4,5		3
5,0		3
5.5		3
6.0		3
2. Pengujian Perendaman Marshall Standar		
Kadar Aspal Persen	Waktu Perendaman (Jam)	Benda Uji
		Air Tawar
Optimum	1	3
Optimum	6	3
Optimum	12	3
Optimum	24	3
3. Pengujian Perendaman Marshall Modifikasi		
Kadar Aspal Persen	Waktu Perendaman (Hari)	Benda Uji
		Air Tawar
Optimum	3	3
Optimum	7	3
Optimum	14	3
Optimum	21	3

4.4.5. Pengujian Perendaman Marshall Standar

Pengujian perendaman *Marshall* merupakan pegujian perendaman benda uji selama 30 menit dan 24 jam pada bak berisi air dengan suhu konstan

60°C. Setelah perendaman selesai dilakukan kemudian diuji *Marshall* untuk mendapatkan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) campuran.

4.4.6. Pengujian Perendaman Marshall Modifikasi

Pengujian ini dilakukan setelah didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO), pada pengujian perendaman *Marshall* modifikasi ditetapkan siklus hari perendaman 1, 6, 12 dan 24 jam serta 3, 7, 14 dan 21 hari. Benda uji direndam pada suhu 60°C. Setelah periode perendaman masing-masing benda uji tercapai kemudian dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow* campuran.

BAB. V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengujian Material

Hasil pengujian material agregat dan aspal beton *geopolimer* berdasarkan pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium PT. Bina Pembangunan Adi Jaya lokasi Ujung Batu Kabupaten Rokan Hulu, diperoleh hasil seperti uraian berikut:

5.1.1. Abu Batu Bara (*Fly Ash*)

Bahan *geopolimer* pada campuran aspal beton pada penelitian ini diambil dari limbah sisa pembakaran batu bara PLTU Tenayan Raya Pekanbaru. Unsur kimia bahan geopolimer pada campuran aspal beton ini diambil dari limbah pembakaran batu bara PLTU Tenayan Raya Pekanbaru dan jenis *fly ash* ini sudah diteliti oleh peneliti sebelumnya seperti data yang ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Komposisi Kimia *Fly Ash* (Sucofindo,2017)

No	Zat Penyusun	% Massa
1	SiO ₂	36,50
2	CaO	19,65
3	Fe ₂ O ₃	19,27
4	Al ₂ O ₃	19,00
5	SO ₃	3,45
6	K ₂ O	0,90
7	TiO ₂	0,71
8	BaO	0,31
9	MnO	0,20
10	SrO	0,17
11	CuO	0,04
12	ZrO ₂	0,03
13	ZnO	0,02
14	HgO	0,02
15	V ₂ O ₅	0,02
16	Rb ₂ O	0,01
17	Cr ₂ O ₃	0,01
	Jumlah	100

Kandungan Kimia *Fly Ash* pada Tabel 5.1 tersebut termasuk jenis kelas F, karena 74,39 % ada terkandung didalamnya mineral ($Al_2O_3+SiO_2+Fe_2O_3$). Dari hasil yang diperoleh, pada umumnya batu bara tersebut dikelompokkan pada batubara keras (Antarsit). Sifat dari antarsit ini ditentukan oleh susunan keteraturan molekul dan derajat kilap. Antrasit memiliki nilai kalori tinggi antara 7200-7780 kal/gram dengan nyala biru pucat dan bebas asap.

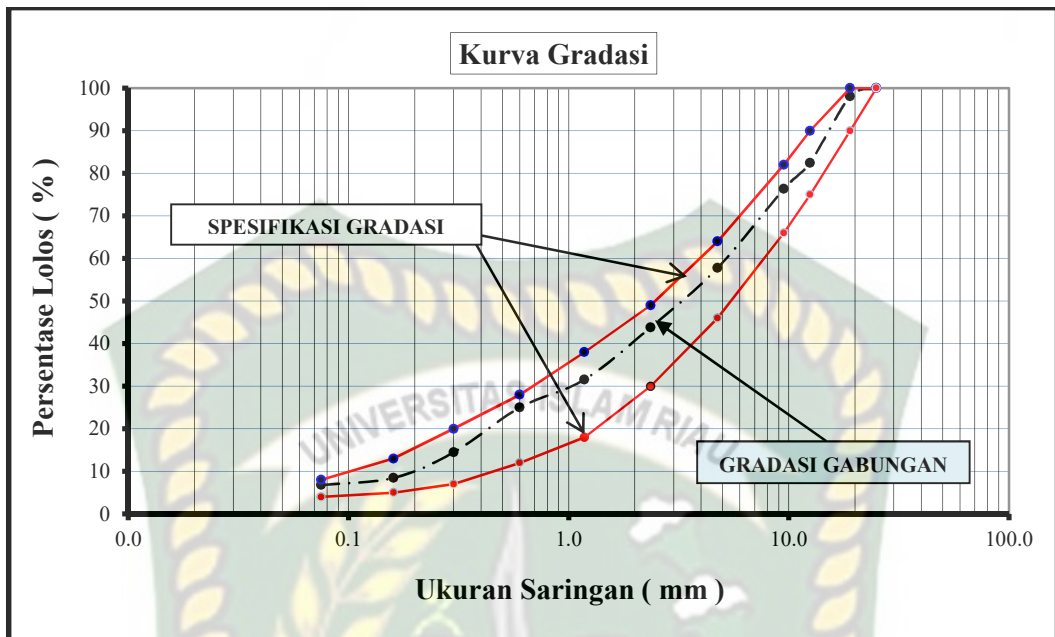
5.1.2. Pengujian Gradasi Agregat

Untuk mengetahui hasil pengujian gradasi agregat masing-masing proporsi agregat yang diperlukan bisa dilihat dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Material Variasi Gradasi

Saringan		Persen Berat Lolos			Persen Berat Tertahan		
Ukuran	Spesifikasi	Gradasi Atas	Gradasi Tengah	Gradasi Bawah	Gradasi Atas	Gradasi Tengah	Gradasi Bawah
1 "	100	100	100	100	-	-	-
3/4 "	90 - 100	97,27	98,06	98,02	-	-	9,27
1/2 "	75 - 90	76,07	82,48	81,74	8,66	-	68,46
3/8 "	66 - 82	68,38	76,33	74,93	18,48	0,00	87,24
No. 4	46 - 64	50,87	57,78	53,43	87,32	8,48	97,47
No. 8	30 - 49	38,43	43,83	40,14	98,53	29,65	99,00
No.16	18 - 38	27,51	31,58	29,02	0,00	48,73	0,00
No. 30	12 - 28	21,70	24,99	23,10	0,00	60,78	0,00
No. 50	7 - 20	12,43	14,47	13,65	0,00	77,84	0,00
No. 100	5 - 13	7,14	8,46	8,25	0,00	88,72	0,00
No. 200	4 - 8	5,67	6,80	6,76	0,00	90,98	0,00
Pan					1,00	1,50	2,00
		100,00	100,00	100,00			

Tabel 5.2. tersebut adalah hasil variasi gradasi batas atas, gradasi batas tengah dan gradasi batas bawah setelah diuji berdasarkan spesifikasi sesuai standar Bina Marga, terhadap persentase berat lolos agregat dan persentase berat tertahan, untuk jelasnya kebutuhan dan penggunaannya bias dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Grafik Variasi Gradasi

Gambar 5.1. menunjukkan grafik hasil gradasi tengah ukuran saringan dan jumlah persen lolos saringan untuk gradasi gabungan agregat kasar dan agregat halus hasil penelitian.

5.1.3. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) biasa juga disebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm-150 mm dengan ketentuan agregat kasar sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butir-butir pipihnya tidak melampaui 20% berat agregat seluruhnya.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya. Bila melampaui harus dicuci.

3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
4. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
5. Agregat kasar harus lewat tes kekerasan dengan bejana penguji Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
6. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
7. Angka kehalusan (Fineness Modulus) untuk Coarse Aggregate antara 6–7,5.

Untuk hasil pengujian agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan hasil perhitungan proporsi agregat dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi Agregat	Standar Pengujian
1	Penyerapan (%)	0,312	maks. 3	SNI 03-1969-1990
2	a. BJ Bulk	2,541	min. 2,5	SNI 03-1969-1990
	b. BJ SSD	2,549	min. 2,5	SNI 03-1969-1990
	c. BJ Semu	2,561	min. 2,5	SNI 03-1969-1990
	d. BJ Efektif	2,651	min. 2,5	SNI 03-1969-1990
3	Abrasi (%)	32,98	maks. 40	SNI 2417:2008
4	Analisis Saringan	-	-	SNI 03-1968-1990
5	Kelekatan Terhadap Aspal (%)	98,5	min. 95	SNI 03-2439-1991
6	Indeks Kepipihan dan dan Kelonjongan (%)	5	maks. 10	ASTM D4791
				Perbandingan 1 : 5

Hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 5.3 menunjukkan jenis pemeriksaan sesuai dengan standart pengujian material untuk agregat kasar, untuk pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali.



Gambar 5.2. Pengujian Agregat Kasar

5.1.4. Pengujian Agregat Halus

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

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam, keras, dan bersifat kekal artinya tidak hancur oleh pengaruh cuaca dan temperatur, seperti terik matahari hujan, dan lain-lain.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % berat kering, apabila kadar lumpur lebih besar dari 5%, maka agregat halus harus dicuci bila ingin dipakai untuk campuran beton atau bisa juga digunakan langsung tetapi kekuatan beton berkurang 5 %.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak.
4. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk Fine Sand antara 2,2–3,2.
5. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk Coarse Sand antara 3,2–4,5.

6. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beranekaragam besarnya.

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

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

- a. Sisa diatas ayakan 4 mm minimum beratnya 2%
- b. Sisa diatas ayakan 1 mm minimum beratnya 10%
- c. Sisa diatas ayakan 0,025 beratnya berkisar antara 80% sampai 95%.

Hasil pengujian agregat halus yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel.5.4. dan pada gambar 5.4. adalah gambar saat pengujian agregat halus dilaksanakan untuk hasil perhitungannya bisa di lihat pada lampiran.



Gambar 5.3. Pengujian Agregat Halus.

Tabel 5.4. Hasil Pengujian Agregat Halus dan *Filler*

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi Agregat Halus	Standar Pengujian
1	Penyerapan (%)	1,097	maks. 3	SNI 03-1970-1990
2	a. BJ Bulk	2,604	min. 2,5	SNI 03-1970-1990
	b. BJ SSD	2,575	min. 2,5	SNI 03-1970-1990
	c. BJ Semu	2,532	min. 2,5	SNI 03-1970-1990
	d. BJ Efektif	2,631	min. 2,5	SNI 03-1970-1990
3	Analisis Saringan	-	-	SNI 03-1968-1990
4	Material lolos Ayakan no.200 (%)	6,800	Maks. 8	SNI 03-4428-1997
1	BJ Fly Ash F	2,667	min. 2,5	SNI 03-2460-1990
2	BJ Geopolimer F	2,577	min. 2,5	SNI 03-2460-1991

5.1.5. Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini jenis aspal yang dipergunakan adalah aspal yang memiliki penetrasi 60/70 Aspal, hasil pengujian dari aspal tersebut bias dilihat pada gambar 5.4.

**Gambar 5.4.** Proses Pengujian Aspal

Untuk hasil pengujian aspal yang sudah dilaksanakan bisa dilihat pada Tabel 5.5 dan hasil perhitungannya bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 5.5. Hasil Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi Aspal Pen 60/70	Standar Pengujian
1	Penetrasi pada 25 ^o C (mm)	66,70	60 - 70	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek (^o C)	53	≥ 48	SNI 06-2434-1991
3	Duktilitas pada 25 ^o C (mm)	110	≥ 100	SNI 06-2432-1991
4	a. Titik Nyala (^o C)	302	≥ 232	SNI 06-2433-1991
	b. Titik Bakar (^o C)	319		SNI 06-2433-1991
5	Berat Jenis	1,047	≥ 1,0	SNI 06-2441-1991
6	Berat Yang Hilang (%)	0,163	≤ 0,8	SNI 06-2441-1991

Tabel 5.5. menunjukkan hasil rata-rata pengujian aspal dari seluruh proses dan ketentuan pada pelaksanaan pengetesan terhadap aspal beton. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan aspal penetrasi 60/70, memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

5.1.6 Pembuatan Geopolimer

Untuk mendapatkan proporsi kadar *fly ash* dan aktivator NaOH diuraikan sebagai berikut. Kebutuhan *geopolimer* untuk bahan pada campuran aspal beton mengacuh kepada hasil gradasi tengah berdasarkan Standar Spesifikasi Bina Marga seperti grafik gradasi gabungan yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 diatas, sebagai dasar perhitungan kebutuhan filler dengan berat 17,63 gram dengan perbandingan komposisi material lainnya.

- a. Kebutuhan berat *fly ash* dan aktivator sebagai dasar perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Kebutuhan filler = Kebutuhan *geopolimer*

2. Kebutuhan *geopolimer* = berat fly ash + berat aktivator
3. Kebutuhan *geopolimer* = 75% berat filler + 25% berat filler
4. 17,63 gram = 75% berat filler + 25% filler
- b. Kebutuhan fly ash = 75% berat filler
 1. Kebutuhan fly ash = 75% x 17,63 gram
 2. Kebutuhan fly ash = 13,22 gram
 3. Berat aktivator = 25% berat filler
 4. Berat aktivator = 25% x 17,63 gram
 5. Berat aktivator = 4,41 gram
- c. Kebutuhan aktivator (NaOH), dengan perbandingan 1,5 berat larutan :
 1. Berat NaOH = 1,5 x NaOH = 1,5 NaOH
 2. Berat aktivator = (1,5 x NaOH)
 3. 4,41 gram = (1,5 x 4,41) = 6,62 gram

Dari perhitungan ini diperoleh bahan kebutuhan yang diperlukan dalam membuat *geopolimer*. Kebutuhan bahan *geopolimer* untuk perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) dapat dilihat pada Tabel 5.6. dan untuk Gambar 5.5 adalah saat pengujian berlangsung.



Gambar 5.5. Pembuatan *Filler Geopolimer*

Tabel 5.6. Hasil Pengujian *Filler* Abu Batu Bara dan Aktivator Satu Benda Uji

Jenis	Jumlah Pembuatan Benda Uji	Fly Ash (75% Filler)	Kebutuhan Filler	Aktivator (25% Filler)	
	(buah)	(gram)	(gram)	(gram)	
Gradasi Atas	3	44,25	59,00	14,76	23,60
Gradasi Tengah	3	13,22	17,63	4,41	7,05
Gradasi Bawah	3	9,00	12,00	3,00	4,80
Jumlah	9	66,47	88,63	22,17	35,45
<i>Filler 1, 0 %</i>	3	9,00	12,00	3,00	4,80
<i>Filler 1,5 %</i>	3	13,22	17,63	4,41	7,05
<i>Filler 2, 0 %</i>	3	44,25	59,00	14,76	23,60
Jumlah	9	66,47	88,63	22,17	35,45

Hasil pengujian dari satu benda uji untuk kebutuhan material Abu Batu Bara dan material aktivator ditunjukkan pada Tabel 5.6. Proporsi ini adalah hasil pengujian dalam penelitian dilakukan di laboratorium. Dari percobaan ini bisa dilaksanakan, mengingat waktu pematatannya tidak terlalu cepat dan mudah dilaksanakan dalam pengerjaannya. Hasil percobaan dan perhitungan kebutuhan *geopolimer* untuk semua benda uji pada aspal beton dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7. Hasil Pengujian *Filler* Abu Batu Bara dan Aktivator Semua Benda Uji

Jenis	Jumlah Pembuatan Benda Uji	Fly Ash (75% Filler)	Kebutuhan Filler	Aktivator (25% Filler)	
	(buah)	(gram)	(gram)	(gram)	
Gradasi Atas	3	132,75	177,00	44,25	70,80
Gradasi Tengah	3	36,67	52,89	13,22	21,16
Gradasi Bawah	3	27,00	36,00	9,00	14,40
Jumlah	9	196,42	265,89	66,47	106,36
<i>Filler 1, 0 %</i>	3	27,00	36,00	9,00	14,40
<i>Filler 1,5 %</i>	3	36,67	52,89	13,22	21,16
<i>Filler 2, 0 %</i>	3	132,75	177,00	44,25	70,80
Jumlah	9	196,42	265,89	66,47	106,36

5.2. Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran aspal beton *geopolimer* dari penggunaan variasi *filler* pada penelitian ini, analisa yang diperlukan mengacuh pada tiga jenis gradasi campuran agregat melalui proses pengujian masing-masing jenis dan komposisi penggunaan *filler*.

5.2.1. Perencanaan Campuran Aspal Beton

Merencanakan proporsi penggunaan material untuk campuran aspal beton, diperlukan dua jenis variasi yaitu menggunakan variasi gradasi campuran dan gradasi variasi *filler*. Pada penelitian ini yang dipakai adalah dari gradasi tengah sebab karakteristik perkerasan pada gradasi tengah menunjukkan karakteristik yang lebih baik, dan berpengaruh pada penggunaan kadar *filler*. Dalam penggunaan *filler* pada gradasi tengah dibagi menjadi tiga jenis pemakaian, yaitu kadar *filler* 1,0% (12,00 gr), 1,5% (17,63 gr), dan 2,0% (59,00 gr). Untuk gradasi agregat menggunakan variasi *filler*, dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Variasi *Filler* Pada Gradasi Tengah

Saringan		Persentase Berat Lolos			Persentase Berat Tertahan		
Ukuran	Spesifikasi	Filler 1%	Filler 1,5%	Filler 2%	Filler 1%	Filler 1,5%	Filler 2 %
1 "	100	100	100	100	-	-	-
1/2 "	90 - 100	97,27	98,06	98,02	-	-	9,27
3/4 "	75 - 90	76,07	82,48	81,74	8,66	-	68,46
3/8 "	66 - 82	68,38	76,33	74,93	18,48	0,00	87,24
No. 4	46 - 64	50,87	57,78	53,43	87,32	8,48	97,47
No. 8	30 - 49	38,43	43,83	40,14	98,53	29,65	99,00
No.16	18 - 38	27,51	31,58	29,02	0,00	48,73	0,00
No. 30	12 - 28	21,70	24,99	23,10	0,00	60,78	0,00
No. 50	7 - 20	12,43	14,47	13,65	0,00	77,84	0,00
No. 100	5 - 13	7,14	8,46	8,25	0,00	88,72	0,00
No. 200	4 - 8	5,67	6,80	6,76	0,00	90,98	0,00
Pan					1,00	1,5	2,00
Total							

5.2.2. Rancangan Proporsi Aspal Terhadap Campuran

Rancangan proporsi aspal untuk mengetahui kadar aspal ideal dalam penentuan kadar aspal optimum. Kebutuhan aspal ditentukan berdasarkan proporsi gradasi atas, gradasi tengah dan gradasi bawah untuk campuran aspal beton. Rumus yang dipakai umumnya dalam menghitung kebutuhan campuran aspal optimum berpedoman pada Spesifikasi Teknik Bina Marga 2010. Untuk perhitungan rancangan pemakaian kadar aspal optimum pada gradasi tengah dapat dilihat dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 P &= 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 \text{ gradasi tengah } (\% \text{ filler}) + K \\
 &= 0,035 (43,83) + 0,045 (31,58) + 0,18 (6,80) + 1,00 \\
 &= 5,40 \%
 \end{aligned}$$

dimana :

P = kadar aspal ideal, persen terhadap campuran

CA = persentase agregat tertahan saringan No. 8

FA = persentase agregat lolos saringan No. 8 tertahan saringan No. 200

Filler = persen agregat lolos saringan No. 200

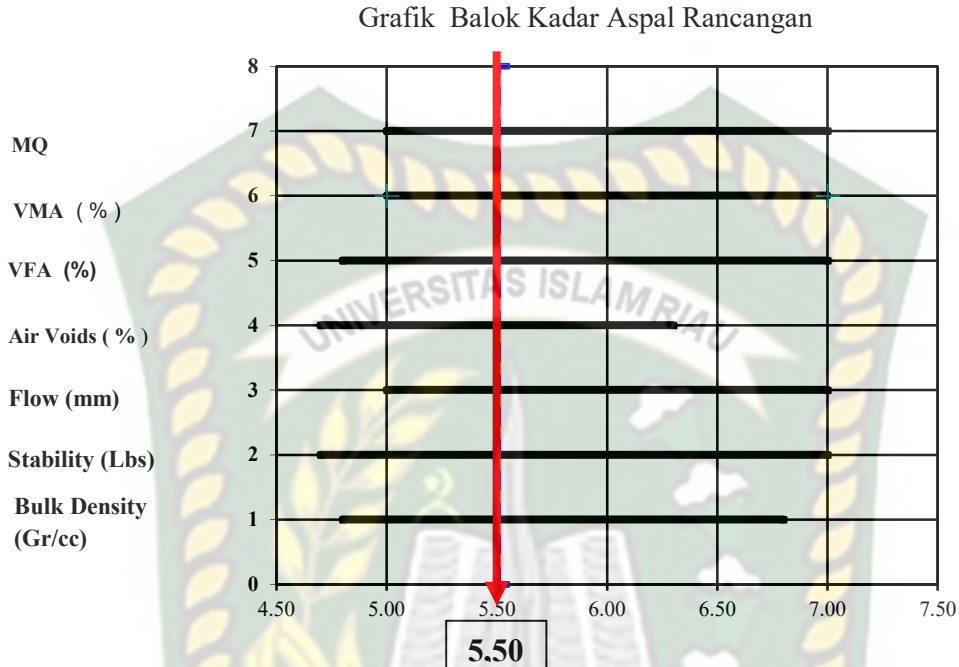
K = konstanta (0,5% - 1%)

Kadar aspal ideal sebesar 5,50 % terhadap total agregat dari dari hasil perhitungan nilai perkiraan aspal optimum.

5.3. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pada penelitian ini menentukan kadar aspal optimum yang dipakai dalam campuran aspal untuk perkerasan lentur adalah analisa gradasi tengah yang memenuhi spesifikasi Bina Marga. Kadar aspal optimum karakteristiknya yang

memenuhi spesifikasi dapat dilihat pada diagram barchat Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Grafik Kadar Aspal Optimum

Selanjutnya dibuatlah benda uji dengan empat variasi kadar aspal masing-masing berbeda 0,5%. Hasil perhitungan penggunaan kadar aspal optimum secara keseluruhannya dapat dilihat pada tabel Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Hasil Pengujian Kadar Aspal Campuran Optimum

No	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VFA (%)	VMA (%)	VIM (%)
1	4,50	931,20	3,82	239,2	63,93	14,96	6,90
2	5,00	1065,60	3,20	292,90	63,93	14,86	5,36
4	5,50	1132,80	3,35	331,50	71,09	15,01	4,34
5	6,00	1046,40	3,55	289,00	77,87	15,20	3,36

Dari Gambar 5.6. diatas karakteristik spesifikasi aspal optimum adalah 5,50 % terhadap campuran aspal beton. Rencana campuran aspal beton pada jalan raya yang biasa digunakan adalah hasil dari gradasi tengah dengan kebutuhan aspal

5,50%. Penggunaan kadar aspal optimum yang diperlukan untuk ketiga jenis variasi gradasi dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Hasil Pengujian Kebutuhan Aspal Optimum

Perkerasan Jalan	Kadar Aspal Optimum
Gradasi Atas	6,00 %
Gradasi Tengah	5,50 %
Gradasi Bawah	4,50 %

Hasil pengujian material yang dibutuhkan seberat 1200 gr untuk membuat empat benda uji pada gradasi atas dapat dilihat pada Tabel 5.11. Sampel uji yang dipersiapkan memiliki empat jenis campuran yaitu : 1. Jumlah campuran agregat 1196,80 gr dan kadar aspal 4,50%; campuran 2. jumlah agregat 1198,70 gr dan kadar aspal 5,00% ; campuran 3. jumlah agregat 1197,50 gr dan kadar aspal 5,50 %; dan campuran 4. Jumlah agregat 1194,70 gr dengan kadar aspal 6%.

Tabel 5.11. Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Agregat Gradasi Atas

Campuran No V Spesifikasi Bina Marga				1	2	3	4
Berat Sampel (gr)		:		1200	1200	1200	1200
Kadar Aspal (%)		:		4,50	5,00	5,50	6,00
Berat Aspal (gr)		:		63,46	63,46	70,25	76,80
Berat Agregat (gr)		:		1196,8	1198,7	1197,5	1194,7
Saringan		Persen Berat Lolos	Persen Berat Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)
Ukuran	Spesifikasi	Gradasi Atas	Gradasi Atas				
1"	100	100	-	-	-	-	-
1/2 "	90 - 100	97,27	-	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	75 - 90	76,07	8,66	-	-	-	-
3/8"	66 - 82	68,38	18,48	228,48	227,28	224,88	223,68
No. 4	46 - 64	50,87	87,32	171,36	170,46	168,66	167,76
No. 8	30 - 49	38,43	98,53	171,36	170,46	168,66	167,76
No.16	18 - 38	27,51	0,00	228,48	227,28	224,88	223,68
No. 30	12 - 28	21,70	0,00	79,97	79,55	78,71	78,29
No. 50	7 - 20	12,43	0,00	91,39	90,91	89,95	89,47
No. 100	5 - 13	7,14	0,00	79,97	79,55	78,71	78,29
No. 200	4 - 8	5,67	0,00	91,39	90,91	89,95	89,47
Pan			1,00	0,50	1,00	1,50	2,00
Total				1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tabel 5.12. menunjukkan hasil pengujian kebutuhan material seberat 1200 gr untuk membuat 4 benda uji pada gradasi atas. Jenis campuran benda uji terdiri dari : 1. Jumlah campuran agregat 1198,30 gr dan kadar aspal 4,50%; campuran 2. Jumlah agregat 1199,20 gr dan kadar aspal 5,00% ; campuran 3. jumlah agregat 1198,30 gr dan kadar aspal 5,50 %; dan campuran 4. jumlah agregat 1197,90 gr dengan kadar aspal 6,00%.

Tabel 5.12. Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Agregat Gradasi Tengah

Campuran No V Spesifikasi Bina Marga				1	2	3	4
Berat Sampel (gr) :				1200	1200	1200	1200
Kadar Aspal (%) :				4,50	5,00	5,50	6,00
Berat Aspal (gr) :				63,46	63,46	70,25	76,80
Berat Agregat (gr) :				1198,3	1199,2	1198,3	1197,8
Saringan		Persen Berat Lolos	Persen Berat Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)
Lolos	Spesifikasi	Gradasi Tengah	Gradasi Tengah				
1 "	100	100	-	-	-	-	-
3/4 "	90 - 100	98,06	-	114,84	114,24	113,04	112,44
1/2 "	75 - 90	82,48	-	-	-	-	-
3/8 "	66 - 82	76,33	0,00	229,68	228,48	226,08	224,88
No. 4	46 - 64	57,78	8,48	155,03	154,22	152,60	151,79
No. 8	30 - 49	43,83	29,65	160,78	159,94	158,26	157,42
No.16	18 - 38	31,58	48,73	206,71	205,63	203,47	202,39
No. 30	12 - 28	24,99	60,78	74,65	74,26	73,48	73,09
No. 50	7 - 20	14,47	77,84	80,39	79,97	79,13	78,71
No. 100	5 - 13	8,46	88,72	74,65	74,26	73,48	73,09
No. 200	4 - 8	6,80	90,98	51,68	51,41	50,87	50,60
Pan			1,50	0,50	1,00	1,50	2,00
Total				1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sedangkan Tabel 5.13 menunjukkan hasil pengujian kebutuhan material seberat 1200 gr untuk membuat 4 benda uji pada gradasi bawah. Jenis campuran benda uji yaitu : 1. Jumlah campuran agregat 1195,80 gr dan kadar aspal 4,50%; campuran 2. Jumlah agregat 1201,60 gr dan kadar aspal 5,00% ; campuran 3. Jumlah agregat 1199,90 gr dan kadar aspal 5,50 %; dan campuran 4. Jumlah agregat 1199,40 gr dengan kadar aspal 6,00%.

Tabel 5.13. Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Agregat Gradasi Bawah

Campuran No V Spesifikasi Bina Marga			1	2	3	5	
Berat Sampel (gr) :			1200	1200	1200	1200	
Kadar Aspal (%) :			4,50	5,00	5,50	6,00	
Berat Aspal (gr) :			45,60	51,60	57,60	69,60	
Berat Agregat (gr) :			1195,80	1201,60	1199,90	1199,40	
Saringan		Persen Berat Lolos	Persen Berat Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)
Ukuran	Spesifikasi	Gradasi Bawah	Gradasi Bawah				
1"	100	100	-	-	-	-	-
3/4"	90 - 100	98,02	9,27	230,88	229,68	228,48	226,08
1/2 "	75 - 90	81,74	68,46	-	-	-	-
3/8"	66 - 82	74,93	87,24	230,88	229,68	228,48	226,08
No. 4	46 - 64	53,43	97,47	138,53	137,81	137,09	135,65
No. 8	30 - 49	40,14	99,00	150,07	149,29	148,51	146,95
No.16	18 - 38	29,02	0,00	184,70	183,74	182,78	180,86
No. 30	12 - 28	23,10	0,00	69,26	68,90	68,54	67,82
No. 50	7 - 20	13,65	0,00	69,26	68,90	68,54	67,82
No. 100	5 - 13	8,25	0,00	69,26	68,90	68,54	67,82
No. 200	4 - 8	6,76	0,00	69,26	68,90	68,54	67,82
Pan			2,00	0,50	1,00	1,50	2,00
Total			100,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

5.4. Rancangan Campuran Aspal Beton Geopolimer

Proporsi material untuk aspal beton geopolimer menggunakan gradasi atas, gradasi tengah dan gradasi bawah. dapat dilihat pada Tabel 5.14. Kebutuhan campuran aspal beton seberat 1200 gr untuk gradasi atas membutuhkan aspal seberat 84,29 gr dan agregat 1198,30 gr, untuk gradasi tengah membutuhkan aspal seberat 85,09 gr dan agregat seberat 1197,50 gr, dan pada gradasi bawah diperlukan aspal dengan berat 63,46 gr dan agregat seberat 1199,9 gr. Sehingga kebutuhan agregat menggunakan kadar aspal optimum yang dipergunakan untuk campuran aspal beton *geopolimer* bisa dihitung kembali.

Tabel 5.14. menunjukkan kebutuhan material untuk aspal beton geopolimer menggunakan gradasi atas, gradasi tengah dan gradasi bawah. Untuk kebutuhan campuran aspal beton seberat 1200 gr pada gradasi atas dibutuhkan aspal berat 84,29 gr dan agregat seberat 1198,30 gr. Pada gradasi tengah dibutuhkan aspal berat 85,09 gr dan agregat seberat 1197,50 gr, dan pada gradasi bawah diperlukan aspal dengan berat 63,46 gr dan agregat seberat 1199,9 gr. Sehingga kebutuhan agregat menggunakan kadar aspal optimum yang diperlukan untuk campuran aspal beton geopolimer dihitung kembali.

Tabel 5.14. Hasil Pengujian Kebutuhan Material dan Proporsi Gradasi Agregat

Campuran No V Spesifikasi Bina Marga					Gradasi Atas	Gradasi Tengah	Gradasi Bawah			
Berat Sampel (gr)					1200	1200	1200			
Kadar Aspal (%)					6,00	5,50	4,50			
Berat Aspal (gr)					84,29	85,09	63,46			
Berat Agregat (gr)					1198,30	1197,50	1199,90			
Saringan		Persen Lolos Berat (gr)			Persen Berat Tertahan (gr)			Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)
Ukuran	Spesifikasi	Grad Atas	Grad Tengah	Grad Bawah	Grad Atas	Grad Tengah	Grad Bawah			
1"	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
3/4"	90 - 100	97,27	98,06	98,02	-	-	9,27	0,00	113,04	226,20
1/2"	75 - 90	76,07	82,48	81,74	8,66	-	68,46	-	-	-
3/8"	66 - 82	68,38	76,33	74,93	18,48	0,00	87,24	223,68	226,08	226,20
No. 4	46 - 64	50,87	55,96	53,43	87,32	8,48	97,47	167,76	153,01	135,72
No. 8	30 - 49	38,43	43,83	40,14	98,53	29,65	99,00	167,76	158,68	147,03
No. 16	18 - 38	27,51	31,58	29,02	0,00	48,73	0,00	-	-	-
No. 30	12 - 28	21,70	24,99	23,10	0,00	60,78	0,00	223,68	204,01	180,96
No. 50	7 - 20	12,43	14,47	13,65	0,00	77,84	0,00	78,29	73,67	67,86
No. 100	5 - 13	7,14	8,46	8,25	0,00	88,72	0,00	89,47	79,34	67,86
No. 200	4 - 8	5,67	6,8	6,76	0,00	90,98	0,00	78,29	73,67	67,86
Pan					1,00	1,50	2,00	59,00	17,63	12,00
Total					100,00	100,00	100,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tabel 5.15. menunjukkan kebutuhan material untuk aspal beton geopolimer menggunakan komposisi *filler* yaitu, 1,0%, 1,5% dan 2,0%. Jadi campuran aspal beton seberat 1200 gr memakai campuran *filler* 1% menghasilkan berat *filler* 12,00 gr, kebutuhan *filler* 1,5% menghasilkan berat *filler* 17,63 gr terhadap campuran aspal beton dan kebutuhan *filler* 2% menghasilkan berat *filler* 59,00 gr, sedangkan kebutuhan setiap komposisi *filler* yang berbeda untuk penggunaan *filler* 1,0% membutuhkan berat aspal 85,09, agregat 1197,5 gram, untuk penggunaan *filler* 1,5% membutuhkan berat aspal 84,29 gram, agregat 1198,3 gram dan untuk penggunaan *filler* 2,0% membutuhkan berat aspal 63,46 gr dan berat agregat seberat 1199,90 gram.

Tabel 5.15. Hasil Pengujian Material dan Proporsi *Filler*

Campuran No V Spesifikasi Bina Marga								Filler 1,0%	Filler 1,5%	Filler 2,0 %
Berat Sampel (gr) :								1200	1200	1200
Kadar Aspal (%) :								4,50	5,50	6,00
Berat Aspal (gr) :								85,09	84,29	63,46
Berat Agregat (gr) :								1197,50	1198,30	1199,9
Saringan		Persen Berat Lolos			Persen Berat Tertahan			Berat (gr)	Berat (gr)	Berat (gr)
Ukuran	Speksi -fiksi	Filler 1%	Filler 1,5%	Filler 2%	Filler 1%	Filler 1,5%	Filler 2%			
1 "	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
3/4 "	90 - 100	97,27	98,06	98,02	-	-	9,27	226,20	113,04	0,00
1/2"	75 - 90	76,07	82,48	81,74	8,66	-	68,46	-	-	-
3/8 "	66 - 82	68,38	76,33	74,93	18,48	0,00	87,24	226,20	226,08	223,68
No. 4	46 - 64	50,87	57,78	53,43	87,32	8,48	97,47	135,72	153,01	167,76
No. 8	30 - 49	38,43	43,83	40,14	98,53	29,65	99,00	147,03	158,68	167,76
No. 16	18 - 38	27,51	31,58	29,02	0,00	48,73	0,00	-	-	-
No. 30	12 - 28	21,70	24,99	23,10	0,00	60,78	0,00	180,96	204,01	223,68
No. 50	7 - 20	12,43	14,47	13,65	0,00	77,84	0,00	67,86	73,67	78,29
No. 100	5 - 13	7,14	8,46	8,25	0,00	88,72	0,00	67,86	79,34	89,47
No. 200	4 - 8	5,67	6,80	6,76	0,00	90,98	0,00	67,86	73,67	78,29
Pan		1,00	1,50	2,00	1,00	1,50	2,00	12,00	17,63	59,00
Total					100,00	100,00	100,00	1200,00	1200,00	1200,00

5.5. Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Aspal Beton

Untuk mengetahui ketahanan terhadap beban (stabilitas), kelelahan aspal (*flow*), hasil bagi marshal (MQ), rongga udara didalam campuran aspal dan volumetrik aspal beton dilakukan pengtesan karakteristik campuran. Dalam penelitian ini karakteristik campuran aspal beton untuk perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) diuji berdasarkan proporsi gradasi agregat dan kebutuhan *filler*.

5.5.1. Karakteristik Aspal Beton Terhadap Pengaruh penggunaan *Filler Geopolimer*

Karakteristik aspal beton pengaruh penggunaan *filler geopolimer* dan tanpa *geopolimer (fly ash)* abu terbang sisa pembakaran batu bara terhadap perbandingan sifat campuran untuk mengetahui campuran tersebut perlu direncanakan kembali komposisi campurannya, mengingat hasil komposisi gradasi campurannya sama, antara pemakaian *filler geopolimer* dan tanpa *geopolimer*, perbedaannya terletak hanya pada penggunaan bahan pengisinya saja yaitu:

1. Aspal beton menggunakan campuran *filler geopolimer*
2. Aspal beton menggunakan campuran *filler* tanpa *geopolimer (fly ash)*.

Untuk penggunaan kadar aspal optimum dari hasil pengujian karakteristik kedua campuran tersebut, penggunaan kadar aspal 5,50 % dengan gradasi yang sama bisa dilihat di Tabel 5.16. menghasilkan ketahanan terhadap aspal (stabilitas) yang menggunakan *filler geopolimer* sebesar 1140,50 kg, lebih dominan dari *filler* tanpa *geopolimer* 1132,80 kg. Kemungkinan karena *filler geopolimer* ada mengandung unsur kimia *sodium silikat* yang sudah homogen dengan *fly ash*

sehingga bisa menambah stabilitas pada campuran *filler geopolimer* pada campuran aspal beton. Pada campuran pasta *geopolimer* ada kandungan *sodium silikat* yang dapat meningkatkan kuat tekan campuran tersebut (Susanto dkk, 2015). Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Optimum *Geopolimer* dan *Fly Ash* pada penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel.5.16. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Optimum *Geopolimer* dan *Fly Ash*

No	Karakteristik Perkerasan	Gradasi Tengah		Spesifikasi
		Abu Batu Bara (Fly Ash)	Filler Geopolimer	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	5,50	5,50	
2	Stabilitas (kg)	1132,80	1140,50	min. 800
3	Kelelehan (<i>Flow</i>) mm	3,35	3,40	min.3
4	MQ (<i>Marshall Quotient</i>)	321,50	328,90	min.250
5	VIM (%)	4,34	4,43	min. 3,5 maks.5,0
6	VMA (%)	15,01	14,91	min. 15
7	VFA (%)	71,09	70,25	Min. 65

5.5.2. Pengaruh Karakteristik Aspal Beton Geopolimer Terhadap Gradasi

Pengaruh dari tiga hasil gradasi agregat berdasarkan ketentuan dari campuran no. V dari spesifikasi pengujian karakteristik campuran aspal beton yang dilakukan menghasilkan perhitungan yang dapat dilihat di lampiran dan ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel.5.17. Hasil Pengujian Penggunaan Aspal dan *Filler Geopolimer* Berbagai Gradasi

No	Karakteristik Perkerasan	Variasi Gradasi Agregat			Spesifikasi
		Gradasi Atas	Gradasi Tengah	Gradasi Bawah	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	6,00	5,50	4,50	
2	Stabilitas (kg)	1017,60	1140,50	941,40	min. 800
3	Kelelehan (<i>Flow</i>) mm	3,59	3,40	3,82	min. 3,0
4	MQ (<i>Marshall Quotient</i>)	278,20	328,90	239,20	min. 250
5	VIM (%)	3,52	4,43	6,80	min. 3,5 maks. 5,0
6	VMA (%)	15,16	14,91	14,68	min. 15
7	VFA (%)	76,80	70,25	63,46	min. 65

Tabel 5.17 menunjukkan campuran aspal beton menggunakan *filler geopolimer* dan penggunaan kadar aspal yang berbeda, yaitu untuk penggunaan *filler geopolimer* dengan takaran 1,0%, 1,5%, dan 2,0% dan persentase pemakaian kadar aspal 4,50%, 5,50% dan 6,00%. Proses pembuatan campuran *geopolimer* menggunakan variasi *filler* dan variasi gradasi terhadap aspal beton adalah untuk mengetahui karakteristik yang dihasilkan dalam pengujian tersebut. Dari hasil pengujian tersebut nilai VMA pada gradasi tengah dan gradasi bawah karakteristik aspal beton yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi campuran yang sudah ditentukan.

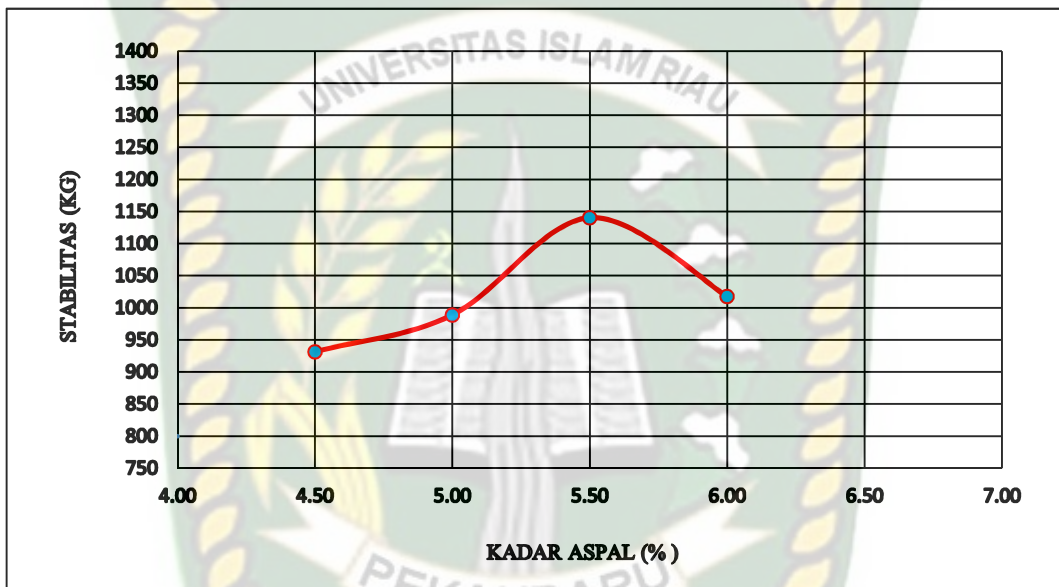
Tabel.5.18. Hasil Pengujian Penggunaan Aspal dengan *Filler Fly Ash* Berbagai Gradasi

No	Karakteristik Perkerasan	Variasi Gradasi Agregat			Spesifikasi
		Gradasi Atas	Gradasi Tengah	Gradasi Bawah	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	6,00	5,50	4,50	
2	Stabilitas (kg)	1046,40	1132,80	931,20	min. 800
3	Kelelehan (<i>Flow</i>) mm	3,55	3,35	3,82	min. 3,0
4	MQ (Marshall Quotient)	289,00	331,50	239,20	min. 250
5	VIM (%)	3,36	4,34	6,90	min. 3,5 maks. 5,0
6	VMA (%)	15,20	15,01	14,86	min. 15
7	VFA (%)	77,87	71,09	63,93	min. 65

Tabel 5.18 menunjukkan hasil pengujian aspal beton menggunakan *fly ash* dan aspal dengan takaran yang berbeda, yaitu *filler* 1,0%, 1,5%, dan 2,0% untuk penggunaan kadar aspal 4,50%, 5,50% dan 6,00%. Proses pembuatan campuran *filler fly ash* (abu terbang batubara) menggunakan variasi *filler* dan variasi gradasi terhadap aspal beton adalah untuk mengetahui karakteristik yang dihasilkan dalam pengujian tersebut. Dari hasil pengujian tersebut nilai VIM dan VMA dari dua gradasi agregat yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi karakteristik aspal beton yang sudah ditentukan khususnya pada gradasi bawah.

Untuk mengetahui penggunaan kadar *filler geopolimer* terhadap campuran kadar aspal dan pengaruhnya terhadap setiap karakteristik campuran aspal beton dari semua gradasi, dapat dilihat dalam penjelasan Gambar 5.7. dan seterusnya.

1. Pengaruh Aspal dan *Filler Geopolimer* Terhadap Stabilitas



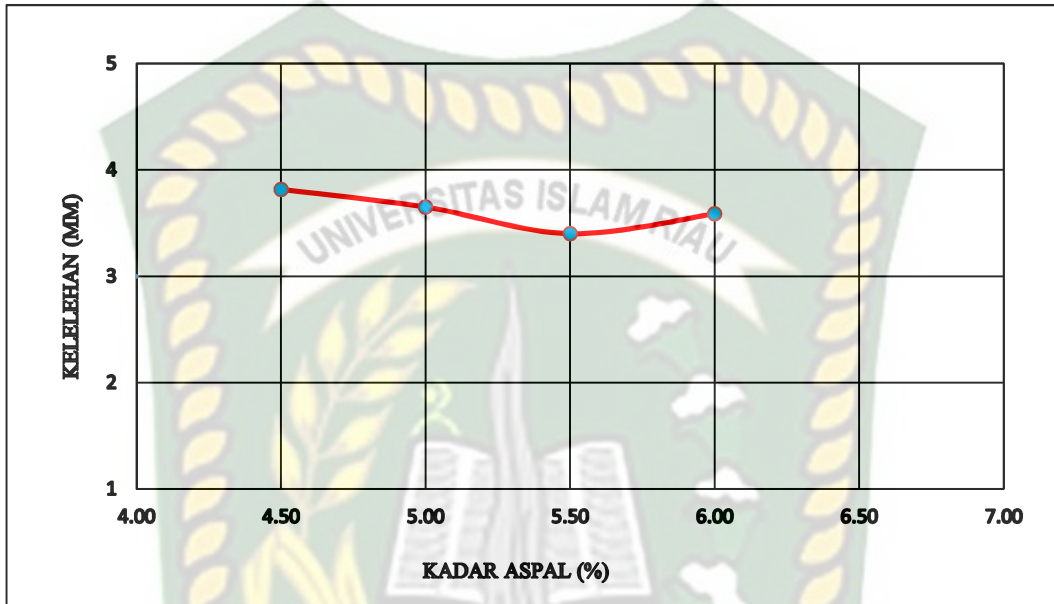
Gambar 5.7. Pengaruh Aspal dan *Geopolimer* Terhadap Stabilitas

Gambar 5.7. menunjukkan hasil nilai stabilitas yang menggunakan kadar *filler geopolimer* 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0%. Dari grafik tersebut menunjukkan penggunaan *filler geopolimer* sesuai dengan proporsinya dan pemakaian kadar aspal optimum dapat meningkatkan nilai stabilitas pada kontruksi jalan aspal beton (*flexible pavement*).

Gambar 5.8. menunjukkan hasil nilai *flow* yang menggunakan kadar *filler geopolimer* 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0%. Grafik tersebut menunjukkan semakin banyak pemakaian *filler geopolimer*, maka nilai *flow* cenderung menurun dan membuat ikatan campuran

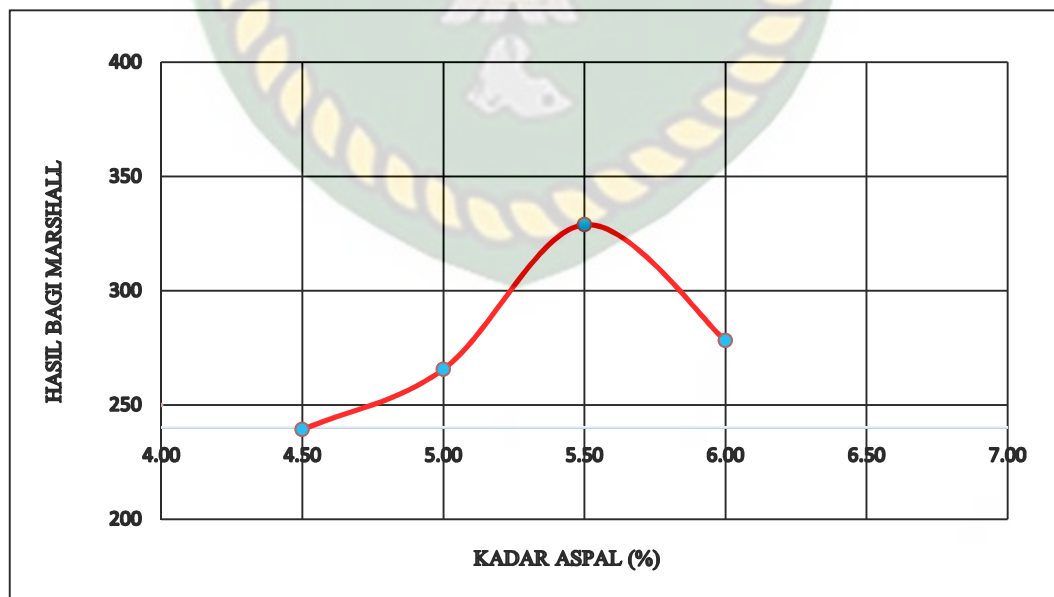
menjadi rapat, sehingga menyebabkan penurunan aspal berkurang akibat pembebanan lalu lintas.

2. Pengaruh Aspal dan *Filler Geopolimer* Terhadap *Flow*



Gambar 5.8 Pengaruh Aspal dan *Geopolimer* terhadap *Flow*

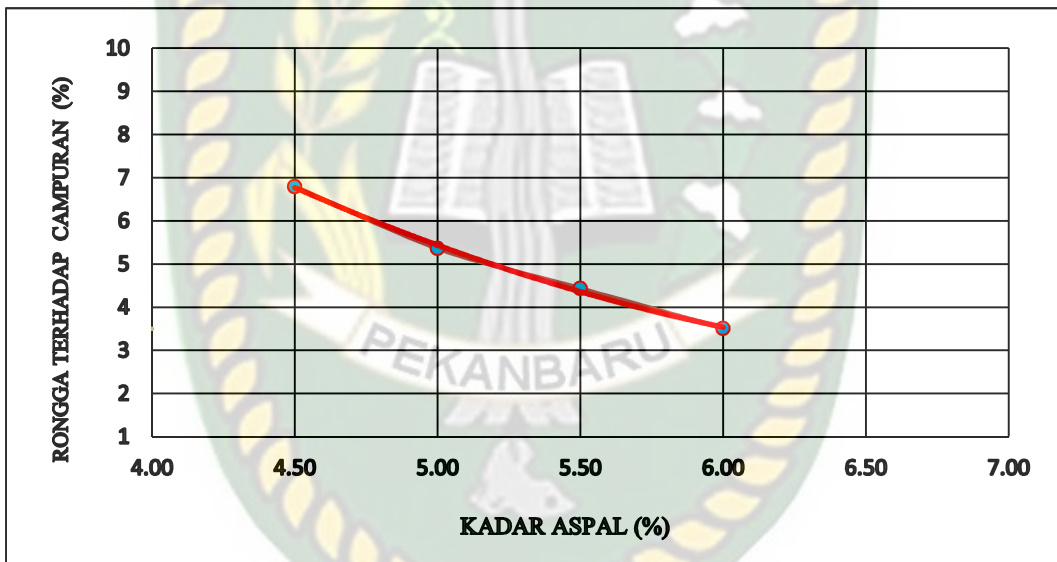
3. Pengaruh Aspal dan *Filler Geopolimer* Terhadap Marshall Quotient



Gambar 5.9. Pengaruh Aspal dan *Geopolimer* terhadap Marshall Quotient (MQ)

Gambar 5.9 menunjukkan hasil nilai MQ yang menggunakan kadar *filler* *geopolimer* 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0%. Grafik tersebut menunjukkan pengaruh penggunaan kadar *filler* *geopolimer* yang banyak, mengakibatkan nilai MQ meningkat, menyebabkan campuran aspal tersebut menjadi kaku, dan lebih mudah retak, sedangkan nilai MQ rendah menunjukkan campuran cenderung kurang stabil dan membuat semakin lentur dan plastis.

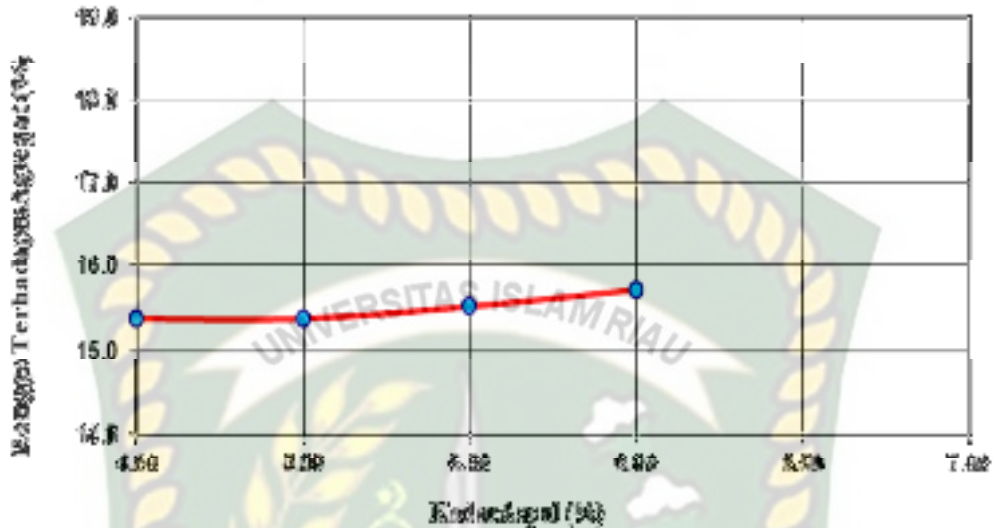
4. Pengaruh Aspal dan *Filler Geopolimer* terhadap VIM



Gambar 5.10 Pengaruh Aspal dan *Geopolimer* terhadap VIM

Gambar 5.10 menunjukkan hasil nilai VIM yang menggunakan kadar *filler* *geopolimer* 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap *void in Mixture*. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan *filler* *geopolimer*, sehingga nilai VIM menurun dan rongga udara menjadi tinggi menyebabkan kedapan airnya berkurang, bisa menimbulkan rongga udara terhadap campuran berkurang dan mengakibatkan *bleeding* serta mempercepat penuaan aspal serta menurunkan keawetannya.

5. Pengaruh Aspal dan Filler geopolimer terhadap VMA.

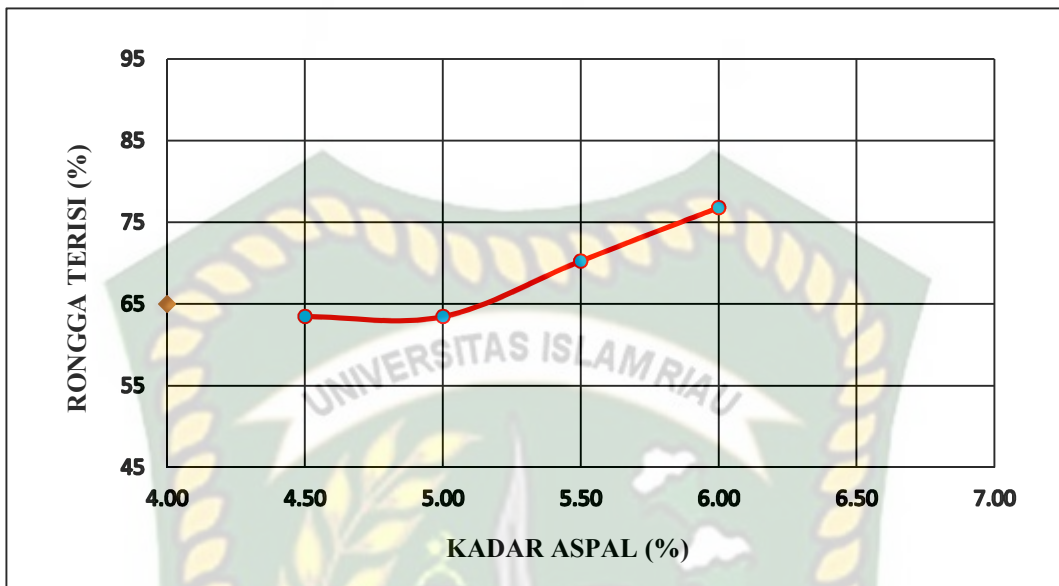


Gambar 5.11. Pengaruh Aspal dan Geopolimer Terhadap VMA

Gambar 5.11 menunjukkan hasil nilai VMA yang menggunakan kadar *filler geopolimer* 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap *void in the mineral agregate*. Grafik tersebut menunjukkan semakin banyak penggunaan kadar *filler*, maka nilai VMA cenderung menurun karena meningkatnya volume rongga terhadap agregat (VMA) sangat berpengaruh terhadap durabilitas, kelenturan, kededapan air, dan ketahanan geser suatu perkerasan.

Gambar 5.12. menunjukkan hasil nilai VFA yang menggunakan kadar *filler geopolimer* 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap volume of voids filled with asphalt. Grafik tersebut menjelaskan penggunaan kadar filler geopolimer semakin banyak, maka rongga terisi (VFA) cenderung semakin meningkat.

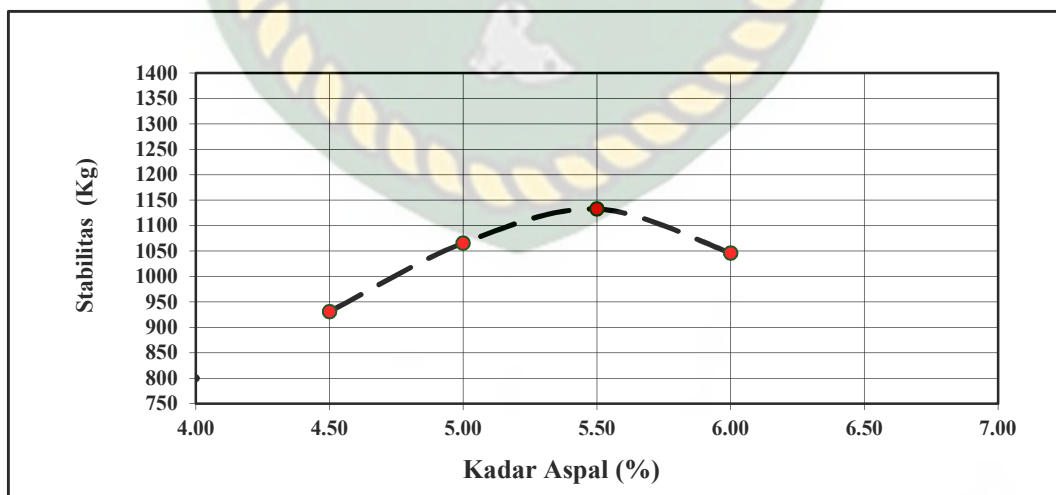
6. Pengaruh Aspal dan *Filler Geopolimer* Terhadap VFA



Gambar 5.12. Pengaruh Aspal dan *Geopolimer* terhadap VFA

Sebagai bahan perbandingan untuk setiap karakteristik campuran aspal terhadap pengaruh penggunaan kadar filler fly ash campuran aspal beton dapat dilihat dalam penjelasan gambar 5.14, dan seterusnya dibawah ini :

1. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap Stabilitas

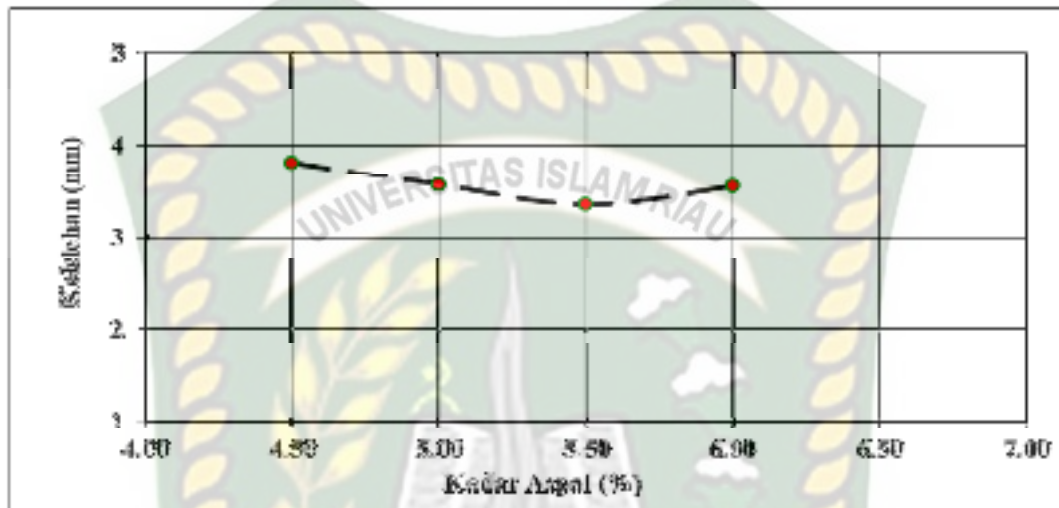


Gambar 5.14. Pengaruh Aspal dan *Fly Ash* Terhadap Stabilitas

Gambar 5.14. menunjukkan penggunaan *filler fly ash* batu bara 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap nilai

stabilitas. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan kadar *filler* sisa pembakaran abu batu bara (*fly ash*).

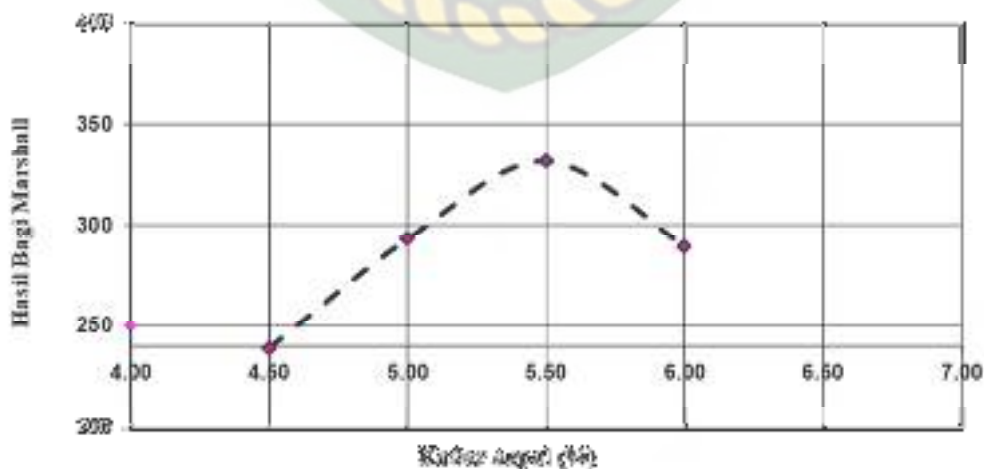
2. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap *Flow*.



Gambar 5.15. Pengaruh Kadar Aspal dan *Fly Ash* Terhadap *Flow*

Gambar 5.15. menunjukkan penggunaan *filler fly ash* batu bara 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap nilai flow. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan kadar *filler* sisa pembakaran abu batu bara (*fly ash*).

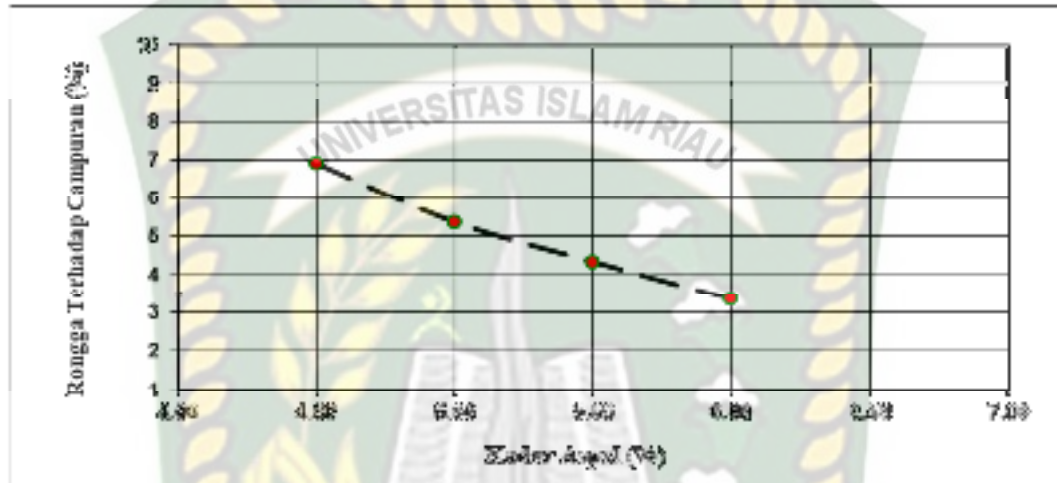
3. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap *Marshall Quotient* (MQ)



Gambar 5.16. Pengaruh Aspal dan *Fly Ash* Terhadap *Marshall Quotient*

Gambar 5.16 menunjukkan penggunaan *filler fly ash* batu bara 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap nilai *Marshall Quotient*. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan kadar *filler* sisa pembakaran abu batu bara (*fly ash*). terhadap *Marshall Quotient*.

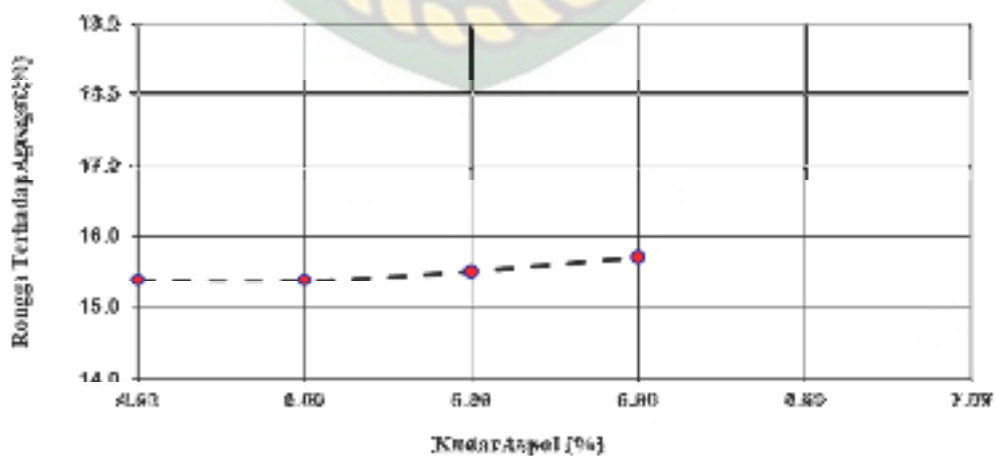
4. Pengaruh Aspal dan *Filler Geopolimer* Terhadap (VIM)



Gambar 5.17. Pengaruh Aspal dan *Fly Ash* Terhadap VIM

Gambar 5.17. menunjukkan penggunaan *filler fly ash* batu bara 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap nilai VIM. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan kadar *filler* sisa pembakaran abu batu bara (*fly ash*) terhadap *void in the mixture*.

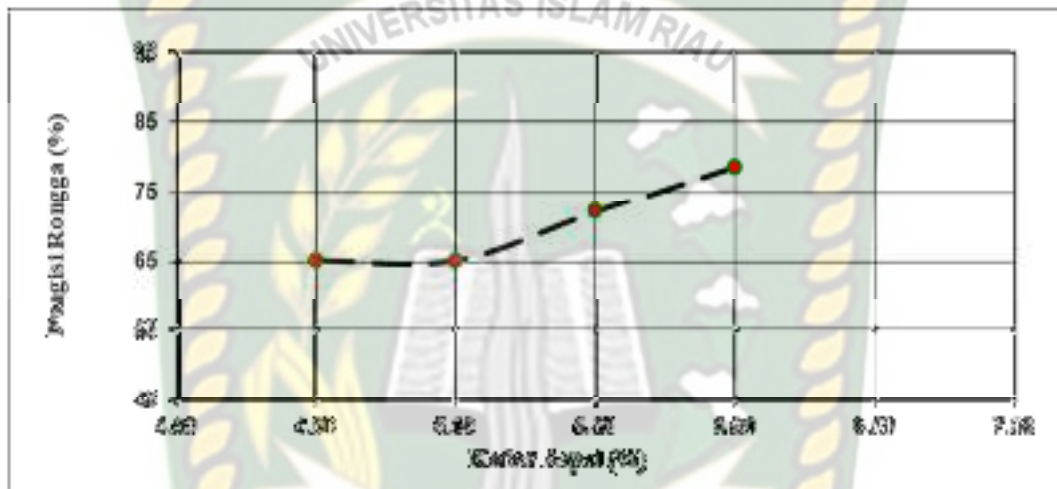
5. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap (VMA)



Gambar 5.18. Pengaruh Aspal dan *Fly Ash* Terhadap VMA

Gambar 5.18 menunjukkan penggunaan filler fly ash batu bara 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap nilai VMA. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan kadar filler sisa pembakaran abu batu bara (*fly ash*), terhadap *void in the mineral aggregate* (VMA).

6. Pengaruh Aspal dan *Filler Fly Ash* Terhadap (VFA)



Gambar 5.19. Pengaruh Aspal dan *Fly Ash* Terhadap VFA

Gambar 5.19 menunjukkan penggunaan filler fly ash batu bara 1,0%, 1,5% dan 2,0% dan penggunaan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6,0% terhadap nilai VFA. Grafik tersebut menunjukkan penggunaan kadar filler sisa pembakaran abu batu bara (*fly ash*) terhadap *Volume of voids filled with asphalt* (VFA).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari analisa data hasil penelitian yang sudah dilaksanakan, diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pengisi tambahan *filler geopolimer* maupun *fly ash* pada perkerasan aspal beton sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga. Hasil pengujian penggunaan *filler geopolimer* menunjukkan nilai stabilitas meningkat 42,56%, demikian juga nilai *flow* meningkat 13,3%; nilai *marshall quotient* (MQ) meningkat 31,56% ; *void in mixture* (VIM) meningkat 26,57% ; *void in the mineral aggregate* (VMA) menurun 0,6% dan *volume of voids filled with asphalt* (VFA) meningkat 8,07% dari spesifikasi yang sudah ditentukan, sedangkan penggunaan *filler fly ash* menghasilkan nilai stabilitas meningkat; *flow* meningkat; *marshall quotient* (MQ) meningkat; *void in mixture* (VIM) meningkat; *void in the mineral aggregate* (VMA) meningkat dan *volume of voids filled with asphalt* (VFA) meningkat.
2. Penggunaan material untuk campuran perkerasan aspal beton pada penelitian ini menggunakan hasil dari gradasi tengah, karena penggunaan campuran gradasi tengah bisa meningkatkan nilai stabilitas perkerasan dan menghemat penggunaan aspal walaupun tidak terlalu *significant* dibanding dengan penggunaan *filler fly ash*.

3. Pada penelitian ini penambahan kadar *filler geopolimer* menyebabkan nilai VMA atau rongga terhadap campuran menurun dibandingkan dengan menggunakan *filler fly ash*, nilai VMA yang rendah tidak kuat terhadap beban lalu lintas yang melebihi kapasitas daya dukung lapisan aspal beton akan tetapi nilai VMA yang rendah, tahan terhadap cuaca yang panas seperti di Provinsi Riau, karena aspal tidak gampang retak atau *bleeding*.

6.2. Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian untuk campuran aspal beton *geopolimer* dengan campuran bahan emulsi, sehingga proses tahapan pencampuran tidak melewati suhu penguapan air yang dibutuhkan untuk proses *polimerisasi* agregat pada aspal beton *geopolimer*.
2. Memperhatikan gradasi agregat sifat dan karakteristiknya serta sumber material dari lokasi mana didatangkan jika menggunakan *filler Geopolimer* untuk campuran aspal beton sebagai bahan pengisi *filler* tambahan atau dengan cara lain merubah komposisi gradasi agregatnya jika diperlukan untuk meningkatkan *stability*.
3. Dalam merencanakan aspal beton *geopolimer* untuk menambah kadar *filler* sebagai bahan pengisi campuran, diusahakan penggunaan kadar *filler* yang normal berdasarkan spesifikasi teknis yang ditentukan. Sehubungan dengan penelitian ini, penggunaan kadar *filler geopolimer* yang dipakai tidak melebihi dari 2,0%, karena penggunaan *filler* melebihi dari 2,0% menimbulkan terbentuknya rongga campuran yang tidak memenuhi spesifikasi.

4. Untuk penambahan campuran aspal beton *filler geopolimer* sangat dianjurkan penggunaannya karena bisa meningkatkan kinerja stabilitas pada perkerasan lentur, mengingat limbah sisa pembakaran batu bara ini cukup banyak di area PLTU yang menggunakan sumber energi pembakaran dari batu bara, dan bisa dikembangkan untuk konstruksi beton agar dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan, yang bisa mengganggu kesehatan manusia sebab abu terbang sisa pembakaran batu bara tersebut mengandung unsur kimia beracun..



- Ahyudanari, E., dkk, 2014, Analysis of Coal Waste Solidification as an Alternative Filler Material in Asphalt Concrete Mixture, Material Science Forum, ISSN: 1662-9752, Vol 841, pp 65-71, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF. 841.65.
- Aditama.,AT, 2017, Analisis Pengaruh Kadar Filler Geopolimer Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton, Tesis, Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
- Ariawan dan Widhiawati, 2010, Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Campuran Laston, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Volume 14, No.2.
- Ator PC., Waani, dan Kaseke, 2015, Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria *Marshall* Pada Campuran Lapis Aspal Beton-Lapis Antara Bergradasi Halus, Jurnal Sipil Statik Vol.3 (813-820) ISSN: 2337-6732.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2008b. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, SNI 1969:2008.
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., Hatanaka, S., dan Cao, T., 2011, High-Stre Strength Geopolymer Using Fine High-Calcium Fly Ash, J. Mater. Civ. Eng., 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000161, 264-270.
- Davidovits, J., 2008, Geopolymer: Chemistry and Applications, Perancis: Geopolymer Institute.
- Davidovits, J., 1994, Global Warming Impact on the cement and aggregate industries, World resource Review, 6, (2), 263-278.
- Davidovits, J. 1991. Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials. Geopolymer Institut.
- Davidovits, J., 1988, Geopolymers of the first generation: SILIFACE-Process,"Geopolymer '88, First European Conference on Soft Mineralogy, Compiegne, France, 49-67.
- Departemen Pekerjaan Umum (DPU), 2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall, RSNI M-01-2003.

- Ekaputri, J.J., dan Triwulan, 2013, Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 20 No1.
- Hamzah, RA., Kaseke, OH., dan Manopo, M.M., 2016, Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang, Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.7 Juli 2016 (447-452) ISSN: 2337-6732.
- Hardjito, D., Wallah S.E., dan Rangan, B.V., 2004, Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete, Civil Engineering Dimension. 6. Issue: 2, hal. 88.
- Kementerian Pekerjaan Umum, Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal, Divisi 6 (Campuran Aspal Panas), 2010, Jakarta.
- Megasari, K., Deni S., dan Maria C.P., 2008, Penakaran Daur Hidup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara Kapasitas 50 Mwatt. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. STTN-Batan Yogyakarta.
- Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2489-1991
- Metode Pengujian Daktilitas Bahan-bahan Aspal , Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2432-1991.
- Misbah, 2011, Pengaruh Variasi Kadar Filler Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas (AC-WC) dengan Menggunakan Pengujian Marshall, POLI REKAYASA Volume 6, No.2 Maret 2011 ISSN:1858-3709.
- Puslitbang Prasarana Transportasi, 2002, Campuran Beraspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Bandung.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2014, Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Indonesia.
- Silvia, S., 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Bandung, Penerbit Nova.
- Sucofindo, 2017, Laporan Hasil Pengujian Unsur Kimia Abu Terbang Batu Bara (*fly Ash*).

Sumiati dan Sukarman, 2014, Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Nilai Karakteristik Aspal Beton (AC-BC), PILAR Jurnal Teknik Sipil, Volume 10, No.1,ISSN: 1907-6975.

SNI 1737 – 1989 – F, Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) untuk Jalan Raya.

Tahir, A., 2009, Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara, Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 4, Nopember 2009: 256 – 278.

Wardani, S. P. R., 2008, Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. Pidato Pengukuhan Guru Besar. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

