

SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN ABU TERBANG BATUBARA (*FLY ASH*)
DARI PLTU PULANG PISAU SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*)
PADA CAMPURAN HRS-WC (*HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE*)**

Oleh:

SUDIKO S. SIMANJUNTAK
NIM. DAB 115 096



JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

PALANGKA RAYA

2021

SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN ABU TERBANG BATUBARA (*FLY ASH*)
DARI PLTU PULANG PISAU SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*)
PADA CAMPURAN HRS-WC (*HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE*)**

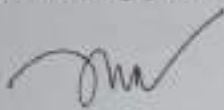
Oleh :

SUDIKO S. SIMANJUNTAK
NIM. DAB 115 096

**Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form Rekomendasi
dan Berita Acara Ujian Skripsi**

Palangka Raya, Juli 2021

(Ketua Penguji/Penguji 1)



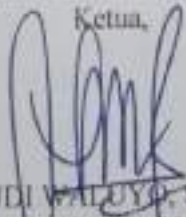
INA ELVINA, S.T., M.T.
NIP. 197708162008122001

(Sekretaris/Penguji.2)



Ir. SUPIYAN, M.T.
NIP. 196402201993021001

Mengetahui:
Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,



Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

**ANALISIS PENGGUNAAN ABU TERBANG BATUBARA (FLY ASH)
DARI PLTU PULANG PISAU SEBAGAI BAHAN PENGISI (FILLER)
PADA CAMPURAN HRS-WC (HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :





SUDIKO S. SIMANJUNTAK
NIM. DAB 115 096

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:

Hari/Tanggal : Rabu/30 Juni 2021
Waktu : 13.00 – 15.00 WIB
Tempat : Online Dari Rumah

Tim Penguji :


1. INA ELVINA, S.T., M.T.
NIP. 197708162008122001
2. Ir. SUPIYAN, M.T.
NIP. 196402201993021001
3. MURNIATI, S.T., M.T.
NIP. 197601112005012002
4. Ir. DESRIANTOMY, M.T.
NIP. 196212231990021001


..... (Ketua Penguji/Penguji 1)

..... (Sekretaris/Penguji 2)

..... (Penguji 3)

..... (Penguji 4)

Mengetahui:

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya
Dekan

Ir. WALLYO N. SWANTORO, M.T.
NIP. 195511091993021001

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

BIODATA MAHASISWA



Data Pribadi

Nama : Sudiko S. Simanjuntak
NIM : DAB 115 096
Tempat, Tanggal lahir : Siria Ria, 18 Desember 1996
Status : Belum Menikah
Agama : Kristen Protestan
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya : Jl. Kelud No. 2
No. Telp Rumah : -
Alamat Asal : Siria Ria
: Desa Sibide Barat
Email : Sudiko96@gmail.com
No Hp : 081254480196
No Wa : 081254480196
Facebook : Sudiko Simanjuntak
Instagram : sudikosimanjuntak
Nama Ayah : Arifin Simanjuntak
Pekerjaan Ayah : Petani
Alamat : Siria Ria
: Desa Sibide Barat
No. Hp : 085262627746
Nama Ibu : Kornella Siagian
Pekerjaan Ibu : Petani
Alamat : Siria Ria
: Desa Sibide Barat
No. HP : 085270742914
Wali : -

Riwayat Pendidikan*)

- SD : SD N 173585 Siria Ria (2003-2009)
- SLTP : SMP Negeri 3 Satu Atap Siria Ria (2009-2012)
- SLTA : SMA Negeri 1 Silaen (2012-2015)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan Agustus 2015

Palangka Raya, 12 Juli 2021
Yang membuat pernyataan

Sudiko S. Simanjuntak
NIM. DAB 115 096

LEMBAR PERSEMBAHAN

MATIUS 7:7. "Sai pangido hamu ma, ai na lehononna do i tu hamu. Sai lului hamu ma, ai na dapotmuna do i. Sai tuktuki hamu ma, ai na bukkaonna do i tu hamu."

Puji dan Syukur kepada Yesus Kristus Sang pemberi dan maha Kasih, atas rahmatNya saya dapat menyelesaikan Skripsi ini pada waktu yang tepat, saya persembahkan karya sederhana ini kepada keluarga khususnya kepada kedua orangtua saya dan kepada orang-orang yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada saya untuk menyelesaikan Skripsi ini.

Among,,,,Inong
Htir hodok mu
Loja ho
Male, mauas
Nambur, haba haba dibolus ho
Di tinggang udan
Di dadang ari
Sude ditaon ho
Nang loja mekkel ho
Nang male, nang hodohan, nang lungunan pe mekkel do ho
Holan humokkop hami gelleng mon.
Dia ma di ho, aha ma di ho?
Dang dijalo ho balos ni lajam
Dang dijalo ho ulak ni hodok mu.
Diama.....
Dang tarbalos hami i
Dang tartuhor hami i
Holan asa gabe hasea hami
Ido pinangidom
Ido panarsittam.
Among,, Inong
Jangiangkon ma hami
Anggiat dapot, anggiat tuk pinarsitta muna
Ganjang ma umur mu
Asa sanga berengon mu, sanga dai onmu saotik hinalojam tu hami
Mauliate ma Among,, Inong ☺

Dengan kerendahan hati dan dengan rasa hormat yang sebesar besarnya, saya persembahkan karya sederhana ini sebagai tanda bakti serta rasa terimakasih kepada Bapak saya (Arifin Simanjuntak), Ibu saya (Kornella Siagian) dan abang-abang saya (Herton Simanjuntak, Rustam Simanjuntak), kaka-kaka saya (Hepmida, Meldawati, Frisda, Canti) serta adik-adik saya (Sartoba Simanjuntak, Yesika) yang senantiasa membawa saya di dalam doa mereka dan memberikan bantuan moril juga material.

Dengan ketulusan dan penuh kebahagiaan saya persembahkan dan ucapkan terimakasih kepada Dosen pembimbing Skripsi saya Ibu Ina Elvina, S.T., M.T dan Bapak Ir. Supiyan, M.T serta Dosen Pembahas Skripsi saya Ibu Murniati, S.T., M.T, Bapak Ir. Desriantomy, M.T. dan Ibu Desi Riani, S.T., M.T.

Saya mengucapkan Terimakasih juga kepada:

- Jurusan Teknik Sipil UPR, Seluruh Dosen, Staf dan Tata Usaha.
- Rekan rekan yang sudah dengan sepenuh hati memberikan waktu untuk membantu saya menyelesaikan Skripsi ini. Terimakasih kepada group anak naburju, Fernando Simanjuntak, Dedi H. Simamora, Kristian Situngkir, Erwin Nainggolan, Riswan Marpaung terkhusus kepada sobat saya Hendri Hermanto tengkyu sahabat ku. Saya ucapkan terimakasih juga kepada Asima Lestari Lumban Tobing yang sudah memberikan partisipasi yang cukup besar dalam penyelesaian Skripsi ini.
- Saya ucapkan terimakasih kepada Hita Teknik dan seluruh personil Hita teknik yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
- Saya ucapkan terimakasih kepada PNB HKI Palangkaraya yang selalu memberikan doa dan motivasi.
- Terimakasih kepada seluruh keluarga saya di Palangka Raya.
- Terimakasih kepada Naposo Simanjuntak PKY
- Terkhusus terimakasih kepada Dosriani Natalia Purba yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan selalu ada untuk saya dalam menyelesaikan Skripsi ini.
- Terimakasih kepada seluruh rekan-rekan mahasiswa Sipil angkatan 2015, dan juga teman-teman di luar kampus yang juga telah memberi support yang tidak bisa di ucapkan satu persatu.

Akhir kata, semoga yang sudah saya peroleh ini menjadi berkat bagi siapapun dan semoga Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya semakin maju dan mampu mencetak lulusan Teknik yang handal pastinya berkualitas.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa Skripsi saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Segala kutipan dan pikiran dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi akibat ketidakbenaran pernyataan saya.

Palangka Raya, 12 Juli 2021



Sudiko S. Simanjuntak

NIM. DAB 115 096

RINGKASAN

ANALISIS PENGGUNAAN ABU TERBANG BATUBARA (*FLY ASH*) DARI PLTU PULANG PISAU SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC (*HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE*), Sudiko S. Simanjuntak, 2021, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya.

Lataston HRS-WC adalah campuran aspal panas bergradasi senjang yang terdiri dari Agregat kasar, halus dan *filler*. Campuran ini banyak digunakan dilapangan sebagai lapis permukaan jalan. Pada pelaksanaannya dilapangan, pelaksana sering diperhadapkan dengan tidak tetapnya gradasi yang tersedia khususnya pada fraksi bahan pengisi (*filler*). Dalam komposisi campuran untuk material bahan pengisi (*filler*) dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar yaitu 6 % s/d 12 %. Material *filler* yang ada seperti abu batu dan semen memberikan harga yang cukup mahal. Abu terbang batubara memiliki ukuran partikel yang sangat halus, abu terbang batubara mengandung unsur *pozzolan* dan bersifat mengeras dan menambah kekuatan jika bereaksi dengan air. Dalam penelitian ini mencoba menganalisis penggunaan abu terbang batubara dari PLTU Pulang Pisau sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran HRS-WC.

Penelitian ini berupa pengujian marshall dengan 2 tahap, yaitu Pengujian Marshall pertama dilakukan untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) tanpa menggunakan abu terbang batubara sebagai *filler*, yang direncanakan dengan variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%, dan untuk Pengujian Marshall kedua dilakukan dengan menggunakan KAO yang diperoleh dari pengujian pertama dengan penambahan abu terbang batubara sebagai *filler* dengan variasi penambahah 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% dari berat total Agregat.

Dari hasil pemeriksaan gradasi agregat diperoleh komposisi rencana campuran dengan proporsi agregat kasar 31%, abu batu 31% dan agregat halus 48%. Berdasarkan hasil pengujian Marshall tanpa penambahan *Filler* diperoleh kadar aspal optimum sebesar 7,2%. Kadar penambahan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan tambah *filler* yang memenuhi semua persyaratan spesifikasi yaitu pada kadar penambahan *Fly Ash* sebesar 5% dari berat total agregat, nilai stabilitas mengalami kenaikan dari tanpa penambahan *filler* dan dengan penambahan *filler* menggunakan abu terbang batubara naik sebesar 270,29 kg, rongga dalam campuran (VIM) mengalami penurunan sebesar 1,07%, rongga terisi aspal (VFB) mengalami kenaikan sebesar 5,72%, hasil bagi marshall mengalami kenaikan sebesar 133,22 kg/mm dan VMA mengalami penurunan sebesar 0,6%

Kata kunci : *Filler, Fly Ash, HRS-WC, Marshall*

SUMMARY

ANALYSIS OF THE USE OF FLY ASH FROM PLTU PULANG PISAU AS FILLER IN HRS-WC MICTURE (HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE). Sudiko S. Simanjuntak, 2021, Civil Engineering Department/ Study Program, Faculty of Engineering, Palangka Raya University.

Lataston HRS-WC is a hot asphalt mixture with a gap grade consisting of coarse, fine and filler aggregates. This mixture is widely used in the field as a road surface layer. The implementation in the field, implementers are often faced with the inconsistency of the available gradations, especially in the filler fraction. The mixture of composition for filler material, required in a large quantities, namely 6% to 12%. The exist of filler materials, such as rock ash and cement provide a fairly expensive price. Coal fly ash has a very fine particle size, coal fly ash contains pozzolani celements and is hardened and increases strength when it reacts with water. This research, to analyze the use of coal fly ash from PLTU Pulang Pisau as a filler in the HRS-WC mixture.

This research is a marshall test with 2 stages, the first Marshall Test to obtain the Optimum Asphalt Content (KAO) value without using coal fly ash as a filler, which is planned with variations in the asphalt content of 6%, 6.5%, 7%, 7, 5%, and 8%, and for the second Marshall Test, it was carried out using KAO obtained from the first test with the addition of coal fly ash as a filler with variations in the addition of 1%, 2%, 3%, 4% and 5% of the total weight of the aggregate.

From the results of the aggregate grading examination, the composition of the mixed plan was obtained with the proportion of coarse aggregate 31%, rock ash 31% and fine aggregate 48%. Based on the Marshall test results without the addition of fillers, the optimum asphalt content was 7.2%. The level of addition of fly ash as a filler added material that meets all specification requirements is the addition of Fly Ash content of 5% of the total aggregate weight, the stability value has increased from without the addition of fillers and with the addition of fillers using coal fly ash. increased by 230,29 kg, the Void In Mixture (VIM) decreased by 1,07%, the Voids Filled with Bitumen (VFB) increased by 5.72%, the Marshall Quotient has increased amounting to 133,22kg / mm and the VMA decreased by 0,6%.

Key word: Filler, Fly Ash, HRS-WC, Marshall

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat kasih karunia-Nya, sehingga Hasil Skripsi ini dapat di selesaikan. Skripsi ini berjudul **“ANALISIS PENGGUNAAN ABU TERBANG BATUBARA (*FLY ASH*) DARI PLPTU PULANG PISAU SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC (*HOT ROLLED SHEET- WEARING COURSE*)”** disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi Strata-1 Jurusan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya (UPR).

Pada kesempatan ini, di ucapkan terimakasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, S.Tp., S.T., M.T. selaku wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T. selaku wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo.,S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy P. S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya dan selaku Pembimbing Akademik.
7. Ibu Ina Elvina. S.T., M.T. selaku Ketua Penguji/Penguji 1.
8. Bapak Ir. Supiyan. M.T. selaku Sekretaris/Penguji 2.
9. Ibu Murniati, S.T., M.T. selaku Penguji 3.
10. Bapak Ir. Desriantomy, M.T. selaku Penguji 4.
11. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
12. Rekan-rekan Mahasiswa dan Mahasiswi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari bahwa penulis hasil skripsi ini akan terdapat kekurangan, oleh karena itu di harapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dimasa yang akan mendatang. Terimakasih.

Palangka Raya, April 2021

Sudiko S. Simanjuntak
NIM. DAB 115 096

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Lokasi Penelitian.....	6
1.7 Lokasi Pengambilan Material	7
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Perkerasan Jalan	13
2.2 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>)	15
2.3 Campuran Aspal Panas	18
2.4 Karakteristik Campuran Aspal Panas	19
2.5 Lapis Tipis Aspal Beton (<i>Hot Rolled Sheet</i>).....	22
2.6 Bahan Penyusun Campuran Perkerasan HRS-WC	23
2.6.1 Agregat	23
2.6.2 Sifat Agregat	26
2.6.3 Aspal	28
2.7 Batubara	31

2.7.1 <i>Fly Ash</i>	32
2.7.2 <i>Bottom Ash</i>	33
2.7.3 <i>Fly Ash</i> untuk <i>Filler</i>	34
2.8 Spesifikasi Campuran Lataston Lapis Aus (<i>HRS-WC</i>)	35
2.9 Membuat Design <i>Mix Formula</i>	38
2.10 Metode Perencanaan Campuran Lataston Lapis Aus (<i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i>)	39
2.11 Pengujian Campuran Metode <i>Marshall</i>	43
2.12 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu	49

BAB III BAHAN DAN METODE PENELITIAN

3.1 Umum	53
3.2 Waktu dan Tempat Pengujian	53
3.3 Langkah-langkah Penelitian	53
3.4 Pengambilan Data Sampel	54
3.5 Bahan Penelitian	55
3.6 Alat-alat Penelitian	55
3.6.1 Alat untuk Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	55
3.6.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji	59
3.7 Waktu dan Tempat Pengujian	60
3.8 Pemecahan dan Pengayakan Agregat	60
3.9 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat	61
3.9.1 Pemeriksaan Gradasi Agregat	62
3.9.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	63
3.9.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	66
3.9.4 Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus	67
3.10 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	69
3.11 Pengujian Abu Terbang Batubara	70
3.11.1 Pengujian Analisis Saringan <i>Filler</i>	70
3.12 Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat	72
3.13 Pembuatan Benda Uji	72
3.14 Pemeriksaan Benda Uji (<i>Tes Marshall</i>)	76
3.16 Bagan Alir Penelitian	77

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Agregat	79
4.1.1 Pemeriksaan Gradasi Agregat.....	79
4.1.2 Perencanaan Campuran	80
4.2 Pengujian Marshall	86

4.2.1	Persiapan Pengujian Marshall	86
4.2.2	Perhitungan Pengisian Tabel Pengujian Marshall	86
4.3	Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal Tanpa Penambahan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	89
4.3.1	Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal	90
4.3.2	Hubungan Kelelehan (<i>Flow</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	91
4.3.3	Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>Void in Mixture/VIM</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	93
4.3.4	Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>Voids Filled with Bitumen/VFB</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	94
4.3.5	Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	95
4.3.6	Hubungan Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) terhadap Variasi Kadar Aspal	96
4.4	Penentuan kadar Aspal Optimum	97
4.5	Penambahan Abu Terbang Batubara (<i>Fly Ash</i>) pada Agregat sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	98
4.6	Analisis Hasil Pengujian Marshall Campuran HRS-WC dengan Penambahan Abu Terbang Batubara (<i>Fly Ash</i>) Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	99
4.6.1	Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi	100
4.6.2	Hubungan Kelelehan (<i>Flow</i>) terhadap Variasi Penambahan Abu Terbang Batubara (<i>Fly Ash</i>)	101
4.6.3	Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>Void in Mix/VIM</i>) terhadap Variasi Penambahan Kadar Abu Terbang	103
4.6.4	Hubungan Rongga Udara Terisi Aspal (<i>Void Filled with Bitumen/VFB</i>) terhadap Variasi Penambahan Kadar Abu Terbang.....	104
4.6.5	Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) terhadap Variasi Penambahan Kadar Abu Terbang	105
4.6.6	Hubungan Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) terhadap Variasi Penambahan Kadar Abu Terbang	106

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	110
5.2	Saran	114

DAFTAR PUSTAKA	115
-----------------------------	------------

LAMPIRAN.....	117
----------------------	------------

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1	Ketentuan Agregat Kasar 24
2.2	Ketentuan Agregat Halus 25
2.3	Ketentuan-ketentuan Untuk Aspal Keras Pen 60/70 30
2.4	Spesifikasi Gradasi Agregat untuk <i>HRS-WC</i> 35
2.5	Persyaratan Sifat-sifat Campuran Lataston 37
3.1	Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum 74
3.2	Benda Uji dengan Bahan Tambah <i>Fly Ash</i> 75
4.1	Hasil Analisa Saringan Masing-masing Agregat 79
4.2	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat 80
4.3	Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal 81
4.4	Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i> 82
4.5	Rencana Komposisi Campuran Tanpa Penambahan Abu Terbang Batu bara sebagai <i>Filler</i> 85
4.6	Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan terhadap Total Agregat 87
4.7	Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall Tanpa Penambahan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi 90
4.8	Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Optimum Tanpa Penambahan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) 98
4.9	Karakteristik Abu Terbang Batubara 98
4.10	Rencana Komposisi Campuran dengan Variasi Penambahan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) 99
4.11	Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall dengan Penambahan Abu Terbang Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 100
4.12	Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Penambahan Abu Terbang Batubara Maksimum 108
4.13	Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran Tanpa Penambahan Abu Terbang Batubara dan dengan Penambahan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 109

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Lokasi Penelitian	7
1.2 Lokasi Pengambilan <i>Fly ash</i>	8
1.3 Lokasi Pengambilan Agregat Ex. Palu.....	8
1.4 Lokasi Pengambilan Pasir Ex. Tangkiling	9
1.5 Sketsa Lokasi Pengambilan <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang Batubara).....	10
1.6 Sketsa Lokasi Pengambilan Pasir Ex. Tangkiling	11
1.7 Sketsa Lokasi Pengambilan Agregat Kasar Ex. Palu.....	12
2.1 Struktur Perkerasan Lentur	14
2.2 Lapis Perkerasan Kaku.....	14
2.3 Lapis Perkerasan Komposit.....	15
3.1 Bagan Alir Penelitian	78
4.1 Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal	81
4.2 Grafik Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i>	82
4.3 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal	91
4.4 Grafik Hubungan <i>Flow</i> terhadap Variasi Kadar Aspal	92
4.5 Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>VIM</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	93
4.6 Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>VFB</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	94
4.7 Grafik Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	95
4.8 Grafik Hubungan Rongga Udara pada Mineral Agregat (<i>VMA</i>) terhadap Kadar Aspal Optimum (<i>KAO</i>).....	96
4.9 Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Kadar Aspal Optimum (<i>KAO</i>).....	97
4.10 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Penambahan Abu Terbang Batubara	101
4.11 Grafik Hubungan <i>Flow</i> terhadap Kadar Penambahan Abu Terbang Batubara (<i>Fly Ash</i>).....	102
4.12 Grafik Hubungan <i>VIM</i> terhadap Variasi Penambahan Abu Terbang Batubara	103
4.13 Grafik Hubungan <i>VFB</i> terhadap Variasi Penambahan Abu Terbang Batubara	104
4.14 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Penambahan Kadar Abu Terbang Batubara sebagai <i>Filler</i>	105

4.15 Grafik Hubungan Nilai Rongga Udara Pada Mineral Agregat (VMA) terhadap Variasi Penambahan Kadar Abu Terbang Batubara sebagai Filler.	106
4.16 Grafik Nilai Parameter Marshall terhadap Penambahan Abu Terbang Batubara sebagai Bahan Pengisi	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan adalah merupakan bagian dari sistem transportasi nasional yang mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial, budaya serta lingkungan dan di kembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan tiap daerah, membentuk dan memperkuat kesatuan nasional untuk memantapkan pertahanan dan keamanan nasional, serta membentuk struktur ruang dalam rangka mewujudkan sasaran pembangunan nasional. (UU No. 38 tahun 2004 tentang Jalan).

Perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Material utama pembentuk lapisan perkerasan jalan adalah agregat, yaitu 90-95% dari berat campuran perkerasan (Sukirman, 2003). Salah satu jenis campuran perkerasaan lentur yaitu Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) bergradasi senjang dengan kadar aspal yang relatif tinggi. Hal ini akan menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang cukup baik agar tidak menimbulkan kerusakan retak atau pelepasan butir. Lataston sebagai lapis aus, dikenal dengan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*.

Lataston *HRS-WC* adalah campuran aspal panas bergradasi senjang yang terdiri dari Agregat kasar, sedang, halus serta bahan pengisi (*Filler*). Campuran ini disebut campuran aspal panas (*Hot Mix Asphalt*) karena dibuat atau dicampur dalam keadaan panas. Campuran ini banyak digunakan dilapangan sebagai lapis permukaan jalan. Pada pelaksanaannya dilapangan, pelaksana sering diperhadapkan bahwa *filler* pada agregat kasar (batu pecah) dan agregat halus (abu batu) sering kali menghasilkan jumlah yang kurang dari spesifikasi yang di syaratkan, oleh karena itu diperlukan tambahan *filler* agar batasan spesifikasi terpenuhi antara 6%–10% dari berat total agregat. Material *filler* yang ada seperti abu batu dan semen memberikan harga yang cukup mahal.

Bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Macam bahan pengisi (*filler*) yang dapat digunakan ialah: abu batu, kapur padam, portland cement (PC), debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Banyaknya bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton sangat dibatasi. Kebanyakan bahan pengisi, maka campuran akan sangat kaku dan mudah retak disamping memerlukan aspal yang banyak untuk memenuhi *workability*. Sebaliknya kekurangan bahan pengisi campuran menjadi sangat lentur dan mudah terdeformasi oleh roda kendaraan sehingga menghasilkan jalan yang bergelombang. Karakteristik *filler* pada campuran perkerasan jalan adalah sebagai bahan pengisi rongga, meningkatkan daya ikat aspal beton, memperbaiki stabilitas campuran, dan memperkecil kelelahan atau penurunan.

Saat ini penggunaan Batubara sebagai sumber energi banyak digunakan pada pembangkit listrik ataupun pada industri-industri besar di Indonesia. Sisa hasil pembakara Batubara menghasilkan abu yang disebut *fly ash* dan *bottom ash* (5- 10%) dari seluruh hasil pembakaran. Karena penggunaan Batubara cukup besar sehingga perlu pengolahan supaya tidak menimbulkan masalah lingkungan. Abu terbang batubara memiliki ukuran partikel yang sangat halus, dari beberapa literatur penelitian sebelumnya abu batubara mengandung unsur *pozzolan* dan bersifat mengeras dan menambah kekuatan jika bereaksi dengan air, oleh karena itu abu batubara dapat dijadikan sebagai *filler* (Tahir, 2009). Abu terbang batubara (*fly ash*) berguna untuk mengisi rongga- rongga dalam campuran beraspal dan sifat saling mengunci antar butir dikarenakan abu batubara memiliki ukuran butir yang sangat halus dan lolos saringan No. 200. Oleh karena itu pada penelitian ini dicoba menggunakan material abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai alternatif pengganti atau mengurangi pemakaian dari abu batu dan semen yang dari segi ekonomis abu terbang batubara lebih murah serta banyak tersedia di beberapa tempat/lokasi. Adapun sumber pengambilan abu terbang batubara yaitu dari PLTU Pulang Pisau Provinsi Kalimantan Tengah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai filler pada campuran aspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* ditinjau dari karakteristik Marshall, yang diharapkan dengan bahan ini sebagai *filler* mampu memenuhi kualitas campuran aspal dan juga sekaligus salah satu langkah penanganan

pengurangan limbah pabrik atau yang berpotensi merusak lingkungan dengan peningkatan nilai fungsinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah:

1. Apakah material yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga?
2. Bagaimana proporsi komposisi terbaik *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* yang dihasilkan tanpa penambahan abu terbang batu bara?
3. Berapa nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai Karakteristik Marshall pada KAO yang dihasilkan pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* tanpa penambahan abu terbang batubara?
4. Bagaimana nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dengan masing-masing variasi penambahan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan pengisi (*filer*) pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* ?
5. Berapa kadar abu terbang batubara (*fly ash*) maksimal sebagai bahan tambah *filler* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini:

1. Mengetahui sifat-sifat fisik material yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.
2. Mengetahui proporsi komposisi terbaik dari campuran yang digunakan *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.

3. Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik Marshall pada KAO yang dihasilkan dari campuran yang diteliti.
4. Mengetahui nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dengan masing-masing variasi penambahan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC).
5. Mengetahui kadar maksimal abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan tambah pengisi (*filler*) pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Ruang lingkup penelitian ini hanya terbatas dilakukan skala Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Abu batubara yang digunakan adalah jenis abu terbang (*fly ash*) dengan variasi 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% terhadap berat agregat yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO).
3. Penelitian tidak membahas reaksi Abu Terbang Batubara (*fly ash*) terhadap campuran aspal.
4. Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70.
5. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode pengujian Marshall.
6. Analisa harga tidak diperhitungkan.
7. Spesifikasi campuran menggunakan Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum 2018 (Revisi 2).

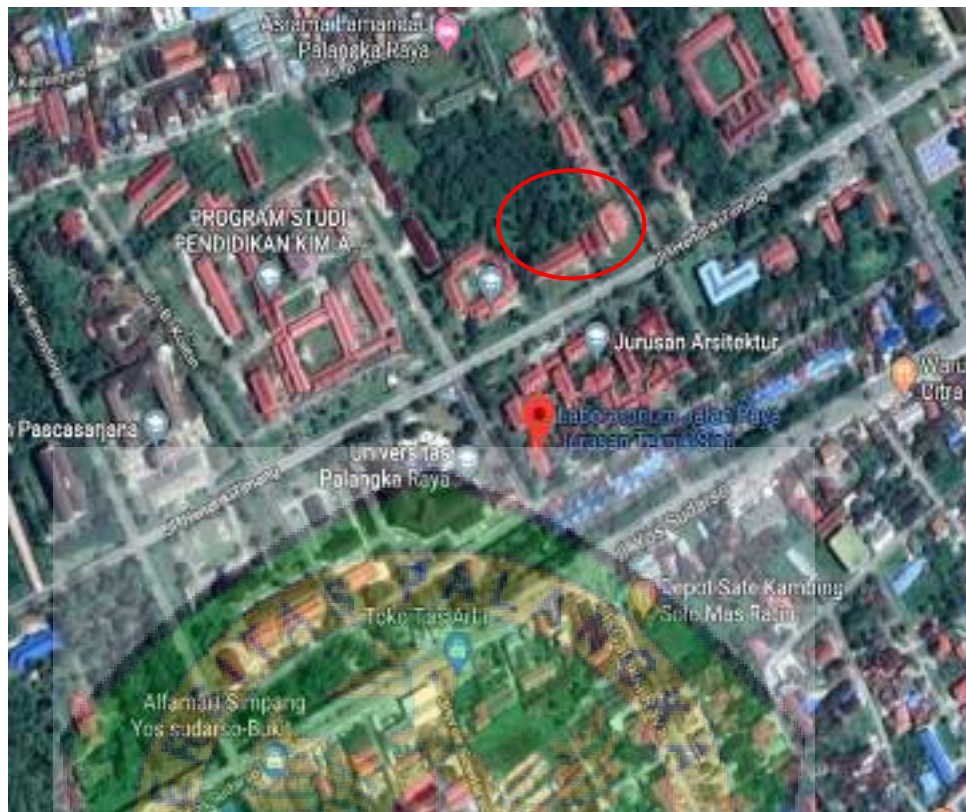
8. Sumber pengambilan abu terbang batubara berasal dari PLTU Pulang Pisau.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data mengenai kualitas agregat dari Palu serta agregat halus dari Tangkiling sebagai campuran agregat dalam campuran HRS-WC ditinjau terhadap sifat Marshall. Mengetahui apakah dengan menggunakan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan tambah pengisi (*filler*) mampu meningkatkan kualitas konstruksi lapis perkerasaan, sehingga diharapkan dapat direkomendasikan penggunaan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan tambah pengisi pada perkerasaan lentur jalan raya sekaligus menjadi jawaban optimal untuk meminimalkan penipisan sumber daya, degradasi lingkungan, dan konsumsi energi baik yang disebabkan limbah itu sendiri maupun dari proses penggalian agregat.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah.

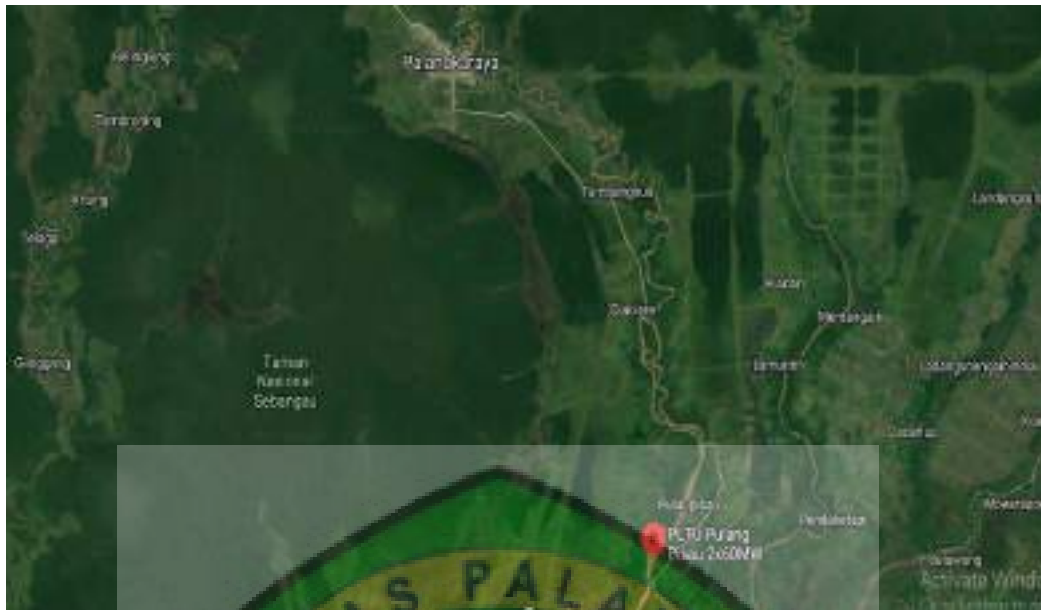


Sumber : GoogleMaps

Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

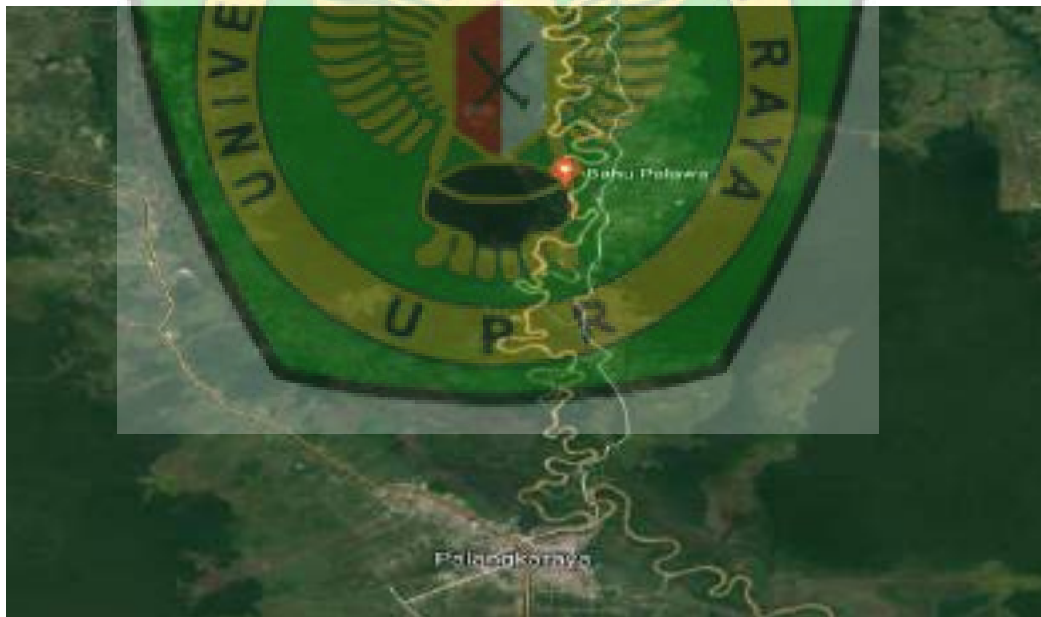
1.7 Lokasi Pengambilan Material

Pengambilan material berupa agregat ex. Palu pada *stockpile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT.Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka-Raya-Kuala Kurun Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau KM 40 dan pengambilan material agregat halus berupa pasir berasal dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu Desa Tumbang Tahai bertepatan di Km.20 Jalan Tjilik Riwut. Adapun pengambilan Abu Terbang Batubara (*fly ash*) dilakukan di PLTU Pulang Pisau 2X60MW Jalan Tingang Menteng, Desa Mintin Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah.



Sumber : Google Maps

Gambar 1.2 Lokasi Pengambilan *Fly ash*



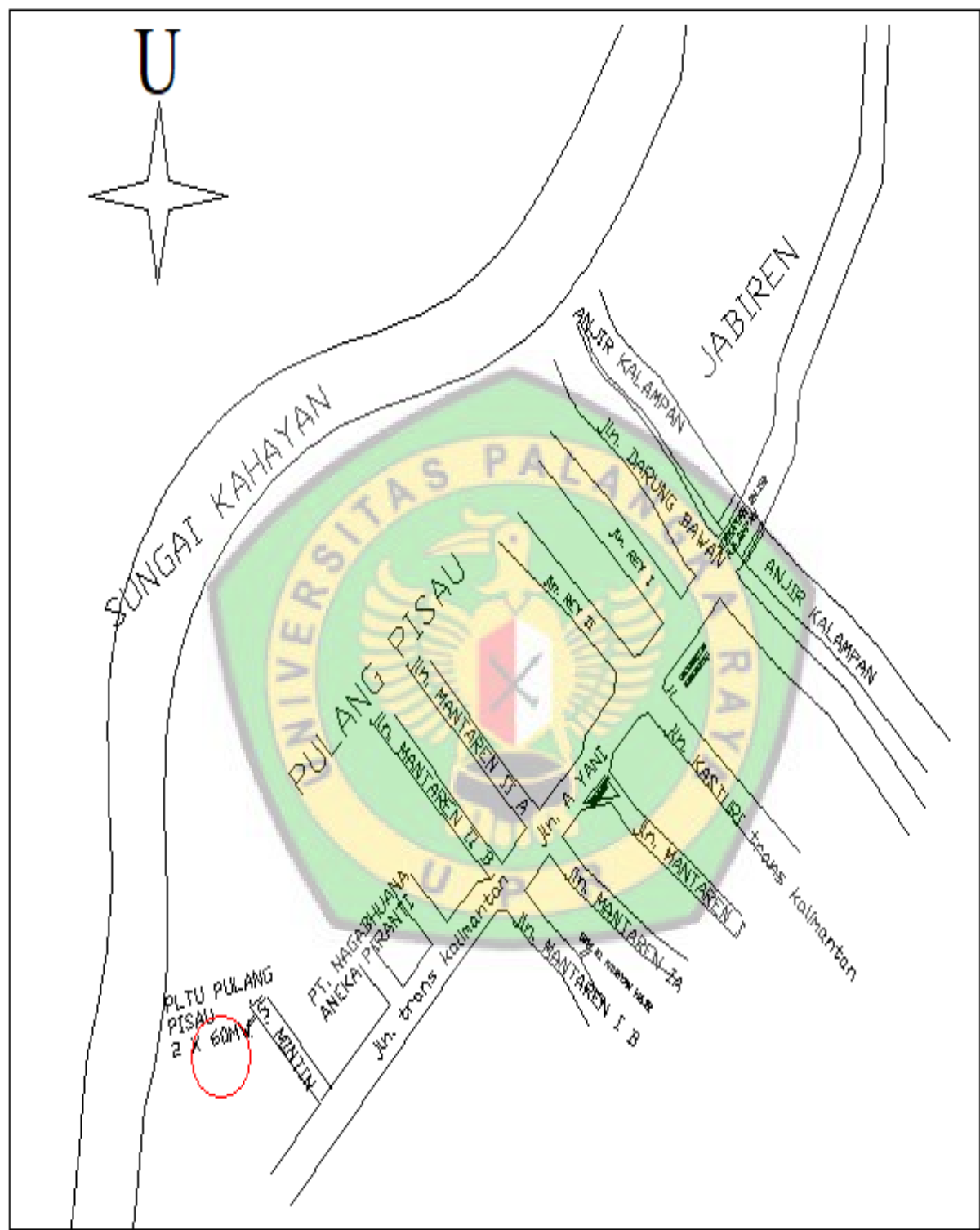
Sumber : Google Maps

Gambar 1.3 Lokasi Pengambilan Agregat Ex. Palu

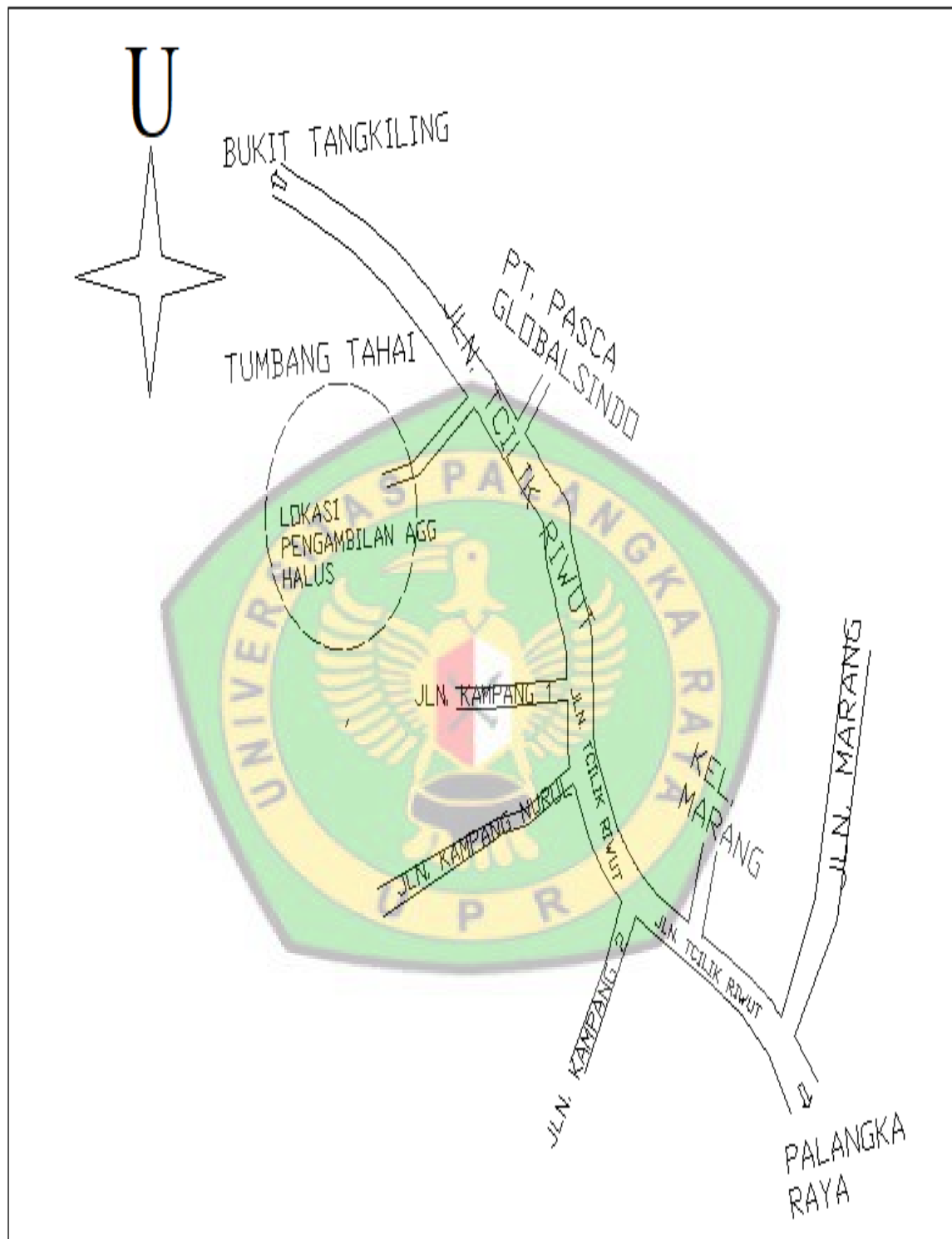


Sumber : Google Maps

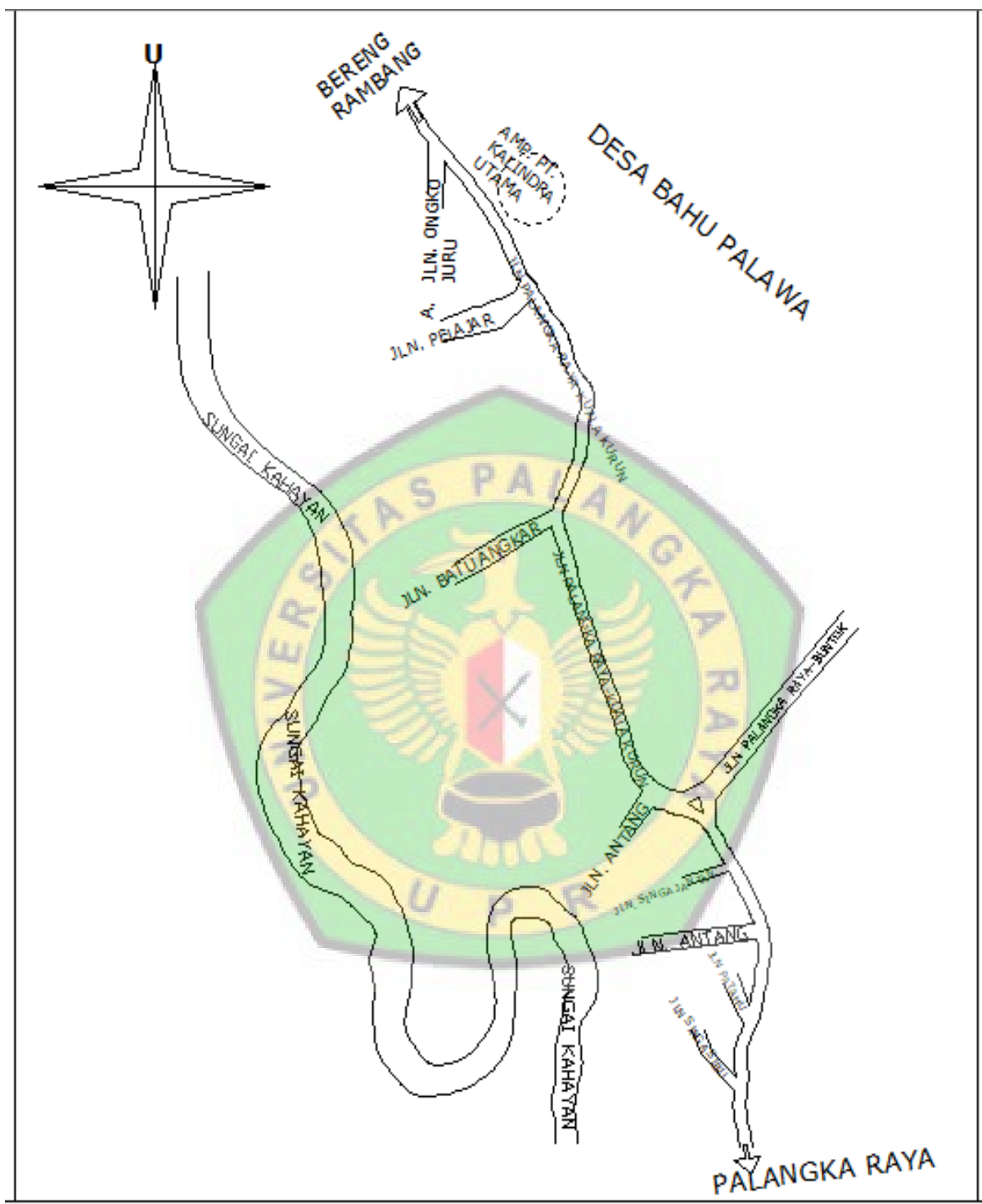
Gambar 1.4 Lokasi Pengambilan Pasir Ex. Tangkiling



Gambar 1.5 Sketsa Lokasi Pengambilan Fly Ash (Abu Terbang Batubara)



Gambar 1.6 Sketsa Lokasi Pengambilan Pasir Ex. Tangkiling



Gambar 1.7 Sketsa Lokasi Pengambilan Agregat Kasar EX. Palu

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

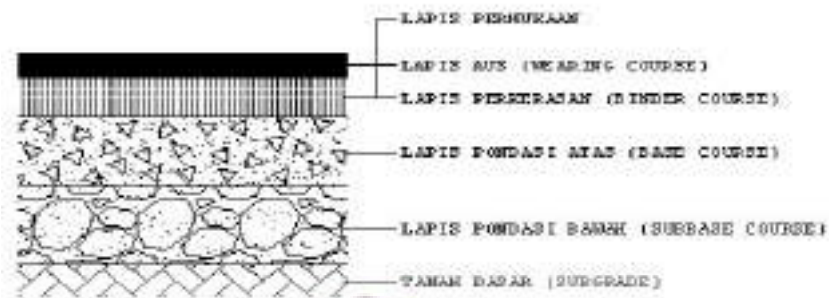
2.1 Perkerasaan Jalan

Perkerasaan jalan adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman, lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasaan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan, (Sukirman 2003).

Menurut Sukirman (1999), Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasaan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasaan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Struktur perkerasaan jalan lentur dibuat secara berlapis dan terdiri atas lapisan permukaan (*surface course*) yaitu lapisan aus dan lapis antara. Lapisan dibawahnya adalah lapisan pondasi yang terdiri dari lapisan pondasi atas (*base course*) dan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan ini diletakkan di

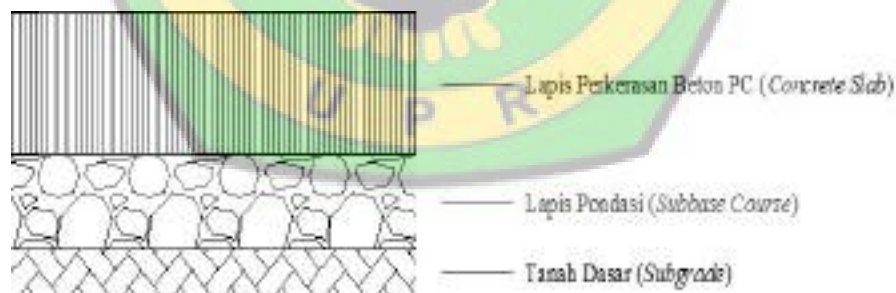
atas tanah dasar yang dipadatkan (*subgrade*). Masing-masing elemen lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu lintas.



Sumber : (Sukirman, 1999)

Gambar 2.1 Struktur Perkerasaan Lentur

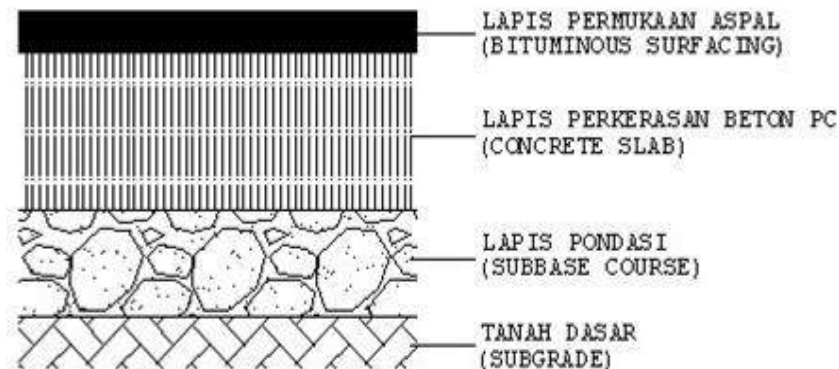
2. Konstruksi perkerasaan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasaan menggunakan semen (Portland cement) sebagai pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.



Sumber : (Sukirman, 1999)

Gambar 2.2 Lapis Perkerasaan Kaku

3. Konstruksi perkerasaan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasaan kaku yang dikombinasi dengan perkerasaan lentur dapat berupa perkerasaan lentur di atas perkerasaan kaku di atas perkerasaan lentur.



Sumber : (Sukirman, 1999)

Gambar 2.3 Lapis Perkerasan Komposit

2.2 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Menurut Sukirman (1999), Lapis yang terletak paling atas disebut lapis permukaan dan berfungsi untuk:

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, lapis ini mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapis aus (*wearing course*), lapis yang langsung menerima gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapis bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung relatif rendah.

Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut, pada umumnya lapis permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan yang lama. Jenis lapis permukaan yang umum dipergunakan di Indonesia antara lain.

1. Lapisan bersifat non-struktural, berfungsi sebagai lapis aus kedap air yang terdiri dari:
 - a. Burtu (Laburan aspal satu lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri atas lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam, dengan tebal maksimum 2 cm.
 - b. Burda (Laburan aspal dua lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dengan cara disemprotkan di atasnya ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan dengan tebal padat maksimum 3,5 cm.
 - c. Latasir (Lapis Tipis Pasir), merupakan lapis penutup yang terdiri atas lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal pada 1-2 cm.
 - d. Buras (Laburan Aspal), merupakan lapis penutup terdiri dari lapisan aspal, taburan pasir dengan ukuran butir maksimal 3/8 inci.
 - e. Latasbum (Lapis tipis asbuton murni), merupakan lapis penutup yang terdiri atas campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal maksimum 1 cm.
 - f. Lataston (Lapis tipis aspal beton), dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet (HRS)*, merupakan lapisan penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapis ini memiliki tebal padat antara 2,5-3 cm.

Walaupun jenis lapisan permukaan di atas bersifat non-struktural, lapisan permukaan tersebut dapat menambah daya tahan perkerasaan terhadap penurunan mutu, sehingga secara keseluruhan dapat menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasaan. Jenis perkerasaan ini digunakan untuk pemeliharaan jalan:

2. Lapisan bersifat struktural, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda. Lapisan ini terdiri dari:
 - a. Penetrasi macadam (lapen), merupakan lapis perkerasaan yang terdiri atas agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Di atas lapen ini biasanya diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal satu lapis dengan bervariasi dari 4-10 cm.
 - b. Lasbutag merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal pada tiap lapisannya antara 3-5 cm.
 - c. Laston (lapis tipis aspal beton), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri atas campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu.

2.3 Campuran Aspal Panas

1. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Sand Sheet*) Kelas A dan B

Campuran-campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya pada daerah dimana agregat kasar sulit diperoleh. Pemilihan kelas A atau B terutama tergantung pada gradasi pasir yang digunakan. Campuran latisir biasanya memerlukan penambahan filler agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan. Campuran ini mempunyai ketahanan yang rendah terhadap alur (*rutting*), oleh sebab itu tidak boleh digunakan dengan lapisan yang tebal, pada jalan dengan lalu lintas berat dan pada daerah tanjakan.

2. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*)

Lataston mempunyai persyaratan kekakuan yang sama dengan tipikal yang disyaratkan untuk aspal beton konvensional (AC) yang bergradasi menerus. Lataston terdiri dari dua macam campuran yaitu : Lataston Lapis Pondasi (*HRS-Base*) dan Lataston Lapis Permukaan (*HRS-Wearing Course*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm.

3. Lapis Aspal Beton (AC)

Laston lebih peka terhadap variasi kadar aspal maupun variasi gradasi agregat dari pada lataston (HRS). Aspal beton (AC) terdiri dari tiga macam campuran yaitu : Laston Lapis Aus (*AC-WC*), Laston Lapis Antara (*AC-BC*), dan Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran 19 mm, 25,4mm dan 37,5 mm. Lapisan aspal beton banyak digunakan sebagai lapis permukaan jalan yang melayani lalu lintas sedang. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus

dan butiran pengisi (*filler*), sedangkan aspal yang dipakai biasanya dari jenis AC 60/70.

2.4 Karakteristik Campuran Aspal Panas

Karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal panas:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti, gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sangat dipengaruhi oleh jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan dilayani oleh konstruksi jalan tersebut. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

2. Keawetan/Daya Tahan (*Durabilitas*)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- a. VIM (*Void In the Mineral*) kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
- b. VMA (*Void In the Mineral Agregat*) besar sehingga selimut aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar.
- c. Film (selimut) aspal, selimut aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasaan adalah kemampuan lapisan perkerasaan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan:

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA (*Void In the Mineral Agregat*) yang besar.
 - b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
 - c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.
- ### 4. Kekesatan/ tahan geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasaan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik diwaktu hujan atau basah maupun

diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan.

Tahan geser yang tinggi dapat diperoleh dengan:

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tak terjadi *bleeding*.
- b. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
- c. Penggunaan agregat berbentuk kubus.
- d. Penggunaan agregat kasar yang cukup.

5. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

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

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

- a. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- b. VAM yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi *fleksible*.

6. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kemudahan pelaksanaan adalah :

- a. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.

- b. Temperatur campuran, yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sukar.

7. Kedap air (*Impermeability*)

Kedap air atau *impermeability* adalah kemampuan campuran perkerasaan untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan campuran aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan proses penuaan dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat menjadi semakin cepat.

2.5 Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*)

HRS (*Hot Rolled Sheet*) atau Lapis Tipis Aspal Beton (*Lataston*) merupakan salah satu lapis perkerasaan jalan yang terdiri dari bahan campuran aspal keras dan agregat yang dicampur, dihamparkan, kemudian dipadatkan pada ketebalan dan suhu tertentu. Campuran HRS terbagi atas 2 jenis yaitu HRS-Pondasi (*HRS-Base*) dan HRS-Lapis Aus (*HRS-Wearing Course*). Perbedaan kedua jenis campuran tersebut terdapat pada gradasi agregat yang digunakan. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) aspal yang digunakan adalah aspal keras pen 60/70. Ukuran maksimum agregat yang digunakan masing-masing campuran adalah 19 mm dan tebal nominal minimum perkerasaan HRS-WC 3 cm dan HRS-Base 3,5 cm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar dari HRS-WC.

2.6 Bahan Penyusun Campuran Perkerasan HRS – WC

Bahan campuran perkerasan HRS-WC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan aspal. Sebelum pencampuran, bahan-bahan tersebut harus di uji terlebih dahulu agar dapat mengetahui sifat-sifat dari bahan tersebut dan dapat memenuhi persyaratan.

2.6.1 Agregat

Menurut Sukirman (2003), Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran agregat aspal yang berupa berbagai jenis butiran-butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya antara lain pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal buatan. ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Kinerja campuran aspal agregat pada perkerasan jalan sangat ditentukan oleh karakteristik jalan. Secara umum agregat dibagi atas agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*).

a. Agregat kasar

Agregat kasar adalah material yang tertahan pada saringan No.8 (2,36 mm).

Agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari material bersih, keras, awet

yang bebas dari kotoran atau bahan yang tidak dikehendaki. Fungsi agregat kasar pada aspal panas jenis *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah memberikan kepadatan untuk campuran. Bentuk serta permukaan agregat kasar yang diinginkan adalah kubus dan tidak bulat agar dapat memberikan kepadatan yang maksimum dan mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik dengan material yang lain.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
	Magnesium sulfat		Maks.18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks.6%
		500 putaran	Maks.30%
	Semua jenis aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks.8%
		500 putaran	Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 %
	Lainnya		95/90 %
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D479-10	Maks 5%
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks 10%
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117 : 2012	Maks 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum (2018) Revisi 2

b. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan lolos saringan No.4 (4,75 mm) (Bina Marga, 2018). Agregat halus dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan memperkuat sifat saling menguncian (*interlocking*) dari agregat

kasar serta mengurangi rongga udara dalam campuran. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet (HRS)* komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	MIN.45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Mak.1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117-2012	Maks.10%

Sumber : Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum (2018) Revisi 2

c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah batuan dari agregat halus yang lolos pada saringan No.200 (0,075 mm) minimum 75%, bersifat non plastis yang diperlukan untuk mendapatkan suatu gradasi rapat. Bahan pengisi dapat berupa semen, kapur terhidrasi, abu batu, maupun abu terbang dan harus bebas dari gumpalan serta diterima setelah pemeriksaan secara visual. *Filler* berguna untuk meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran, mengurangi jumlah rongga udara pada campuran dan menambah titik kontak jumlah butiran. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) persentase *filler* untuk gradasi gabungan campuran HRS-WC adalah minimal 6% dan maksimal 10% dari berat total agregat.

2.6.2 Sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuan dalam memikul beban lalu-lintas. Adapun sifat-sifat agregat yang perlu diperiksa antara lain (Sukirman, S. 1999):

a. Gradasi

Gradasi merupakan susunan butir agregat sesuai ukurannya. Gradasi mempengaruhi rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari pemeriksaan analisis dengan menggunakan satu set saringan.

b. Kadar Lempung Agregat

Kadar Lempung mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal karena hal sebagai berikut:

- 1) Lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antar aspal dan agregat berkurang.
- 2) Lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah.

Dengan kadar aspal sama menghasilkan tebal lapis perkerasan yang lebih tipis yang dapat mengakibatkan terjadinya *striping* (lepas ikatan antara aspal dan agregat).

- 3) Tipisnya lapisan aspal mengakibatkan lapisan teroksidasi sehingga lapisan cepat rapuh dan getas.
- 4) Lempung cenderung menyerap air yang berakibat hancurnya lapisan aspal.

c. Daya tahan agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat yang digunakan harus mempunyai daya tahan terhadap pemecahan (*degradasi*) yang mungkin timbul selama proses pencampuran, pemadatan, ataupun oleh beban lalu-lintas. Ketahanan agregat terhadap degradasi dengan menggunakan percobaan Abrasi Los Angeles.

d. Daya Lekat terhadap Aspal

Faktor-faktor yang mempengaruhi lekatan aspal dan agregat dapat dibedakan atas dua bagian yaitu:

- 1) Sifat kimiawi dari agregat
- 2) Sifat mekanis yang tergantung dari :
 - a) Pori-pori dan absorbs
 - b) Bentuk dan tekstur permukaan
 - c) Ukuran butir.

e. Berat Jenis Agregat

Dalam kaitan perencanaan campuran aspal, berat jenis adalah suatu rasio tanpa dimensi, yaitu rasio antara berat terhadap berat air yang volumenya sama dengan benda tersebut.

2.6.3 Aspal

Aspal adalah material berwarna hitam atau coklat tua yang pada temperatur ruang berbentuk padat, jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat yang ada pada waktu pembuatan campuran aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasaan, jika temperatur mulai menurun aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasaan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran total, atau 10-15 % berdasarkan volume campuran total. (Sukirman 2003).

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal buatan. Aspal alam yaitu aspal yang didapat di suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal buatan adalah aspal yang merupakan residu distilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasaan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

Sedangkan sifat-sifat aspal lainnya adalah:

- a. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologic*), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka

aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis.

- b. Aspal adalah bahan yang Thermoplastis, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan baik dan merata. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.
- c. Aspal mempunyai sifat Thixotropy, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu. Meskipun aspal hanya merupakan bagian yang kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian terpenting untuk menyediakan ikatan yang awet/tahan lama(*durable*) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, kohesi, adhesi dan durabilitas.
- d. Pada AASHTO (1982) dinyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal, angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin meningkatnya besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal aka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi.

- e. Semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama. Semakin tinggi suhu dan makin lambat beban yang lewat, maka modulus elastis aspal makin kecil. Lama pembebanan merupakan fungsi dari tebal perkerasan dan kecepatan kendaraan.
- f. Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah yang beriklim panas sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.
- g. Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran.
- h. Persyaratan umum untuk aspal panas harus memenuhi persyaratan seperti ada pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 ⁰ C, (0,1 mm)	SNI 2456 : 2011	60 – 70
2	Titik Lembek, ⁰ C	SNI 2434 : 2011	≥ 48

Tabel Lanjutan 2.3

3	Daktilitas, 25 ⁰ C	SNI 2432 : 2011	≥ 100
4	Titik Nyala, ⁰ C	SNI 2433:2011	≥ 232
5	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	≥ 1,0
6	Berat yang hilang , %	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8

Sumber : Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum(2018) Revisi 2.

2.7 Batubara

Batubara adalah bahan bakar fosil, dimana di Indonesia tersedia cadangannya dalam jumlah yang cukup melimpah dan diperkirakan mencapai 38,9 miliar ton. (Wardani, 2008). Dari jumlah tersebut sekitar 67 % tersebar di Sumatera, 32% di Kalimantan dan sisanya tersebar di Pulau Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya. Dengan kualitas batubara yang baik dan dengan jumlah yang besar tersebut serta tingkat produksi saat ini, batubara dapat menjadi sumber energi bagi Indonesia selama ratusan tahun. Produksi batubara pada tahun 2010 diperkirakan sekitar 153 juta ton, sedangkan pemakaian dalam negeri pada tahun tersebut adalah 108 juta ton, sedangkan sisanya 45 juta ton merupakan jumlah yang dapat diekspor.

Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu yaitu *fly ash* dan *bottom ash* di mana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan sekitar 80-90% adalah *fly ash* dari total abu yang dihasilkan.

2.7.1 Fly Ash

Fly ash atau abu terbang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara yang pada umumnya dihasilkan oleh pabrik dan PLTU. *Fly ash* berbentuk bubuk yang

halus. *Fly ash* merupakan material dengan sifat pozzolanik yang baik. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah sedikit (Nugraha & Antoni, 2007). *Fly ash* yang berasal dari pembakaran *lignite* atau batu bara *subbituminous* yang memiliki senyawa kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$ ini bersifat *pozzolan* dan *cementitious*. Dari hasil penelitian, *fly ash* meningkatkan sedikit *workability* beton, mengurangi kadar air beton dan juga meningkatkan kuat tekan beton. Meningkatnya kadar *fly ash* dapat mengurangi kebutuhan air, hal ini dikarenakan oleh bentuk partikel *fly ash* yang bulat dan memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga mengurangi void (Naganathan et al., 2015).

Saat ini umumnya *fly ash* batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Recovery magnetit, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (*polisher*)
6. Filler aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

Abu terbang batubara umumnya dibuang di landfill atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena *fly ash* hasil dari tempat pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan. *Fly ash* ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem.

2.7.2 Bottom Ash

Bottom ash, sama halnya dengan *fly ash* merupakan hasil sisa pembakaran batu bara di *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Ukuran *bottom ash* lebih besar dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* jatuh ke dasar tungku pembakaran. Penampilan fisik *bottom ash* mirip dengan pasir sungai alami, dan gradasinya bervariasi seperti pasir halus dan pasir kasar. Ukuran butiran *bottom ash* membuat para peneliti tertarik untuk menggunakannya sebagai bahan pengganti dalam produksi beton (Singh & Siddique, 2015). Ukuran partikel yang lebih besar dari *fly ash* mengakibatkan *workability* campuran yang menggunakan *bottom ash* lebih buruk dari pada campuran yang menggunakan semen dan *fly ash*. Secara umum reaksi *pozzolan* abu batu bara berhubungan dengan kehalusan partikel, dalam hal ini *bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih kasar dan besar dari *fly ash* dimana dipercaya akan menyebabkan reaksi *pozzolan* yang tidak efektif (Kim, 2015).

2.7.3 Fly Ash untuk Filler

Abu terbang batu bara (*Fly ash*) dapat digunakan sebagai mineral *filler* untuk pengisi void dan memberikan kontak point antara partikel agregat yang lebih besar pada campuran asfalt concrete. Abu terbang Batubara memiliki ukuran partikel yang sangat halus, dari beberapa literatur penelitian sebelumnya abu batubara mengandung unsur *pozzolan* dan bersifat mengeras dan menambah kekuatan jika bereaksi dengan air, oleh karena itu abu batubara dapat dijadikan sebagai *filler* (Tahir, 2009) *Fly ash* Batubara berguna untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran beraspal dan sifat saling mengunci antar butir dikarenakan abu batubara memiliki ukuran butir yang sangat halus dan lolos saringan No. 200. Aplikasi ini digunakan sebagai pengganti portland cement atau *hydrated lime*. Untuk penggunaan perkerasan aspal, *fly ash* harus memenuhi spesifikasi *filler* mineral yang ada di ASTM. Sifat *hydrophobic* dari *fly ash* memberikan daya tahan yang lebih baik untuk perkerasan dan tahan terhadap *stripping*. Abu terbang batubara (*Fly ash*) juga dapat meningkatkan *stiffness* dari matrix asfalt, meningkatkan daya tahan terhadap *rutting* dan meningkatkan *durability* campuran.

2.8 Spesifikasi Campuran Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*)

Agregat yang digunakan untuk Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*) sedapat mungkin memenuhi beberapa hal sebagai berikut:

1. Agregat yang digunakan dalam pekerjaan Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*) harus sesuai dengan proporsi campuran kerja (*Job Mix Formula*) yang telah direncanakan.
2. Gabungan agregat yang digunakan dalam pekerjaan harus memenuhi kebutuhan gradasi yang disyaratkan.
3. Menggunakan bahan pengisi *filler* ke dalam campuran.

Spesifikasi gradasi agregat yang digunakan dalam campuran Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*) dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.4 Spesifikasi Gradasi Agregat untuk *HRS-WC*

Ukuran Saringan (mm)	Berat yang Lolos (%)
3/4"	100
1/2"	90-100
3/8"	75-85
No. 8	50-72
No. 30	35-60
No. 200	6-10

Sumber: Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum (2018) Revisi 2.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam campuran Hot Rolled Sheet (*HRS*) meliputi:

1. Komposisi umum campuran

Campuran lataston lapis pondasi yang menggunakan aspal sebagai pengikat pada dasarnya terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan aspal. Dalam beberapa keadaan, tambahan bahan pengisi diperlukan untuk menjamin sifat campuran aspal yang disyaratkan.

2. Kadar campuran aspal

Kadar aspal dalam campuran harus ditetapkan sehingga kadar aspal efektif harus tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan. Nilai kadar aspal yang ditetapkan berdasarkan atas data uji harus sesuai dengan persyaratan yang ada.

3. Proporsi komponen campuran

Kemampuan agregat untuk campuran harus ditetapkan dengan fraksi rancangan (*design fraction*). Dalam menentukan pencampuran yang benar dari beberapa agregat yang tersedia serta bahan pengisi untuk menghasilkan fraksi rancangan yang diperlukan, maka gradasi dari masing-masing agregat yang tersedia dan bahan pengisi harus ditetapkan.

4. Formula campuran kerja (*Job Mix Formula*)

Jumlah total dan kandungan aspal efektif yang dinyatakan sebagai persentase berat dan campuran total yang ditetapkan pada saat campuran dikirim ke tempat penghamparan harus dalam keadaan rentang komposisi umum dan batas-batas temperatur.

5. Penerapan formula campuran dan toleransi

Seluruh campuran kerja yang tersedia harus memenuhi formula campuran kerja yang ditetapkan dalam batas rintangan toleransi yang disyaratkan di bawah ini:

a. Toleransi komposisi campuran

Gabungan agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36) \pm 5% berat keseluruhan. Gabungan agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) \pm 1,5% berat campuran keseluruhan.

b. Toleransi temperatur

Material yang meninggalkan tempat percampuran \pm 10°C, material yang diterima di tempat penghamparan \pm 10°C.

6. Sifat campuran yang diperlukan

Bila diuji dengan alat Marshall, campuran Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*) harus memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Tabel 2.5 di bawah ini:

Tabel 2.5 Persyaratan Sifat-sifat Campuran Lataston

Sifat-sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Pondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,5
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,7	
Jumlah tumbukan perbidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	600	800
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	3	

Sumber : Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum (2018) Revisi 2.

2.9 Membuat Design Mix Formula

Kadar aspal total dalam campuran lataston adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat yang mengisi pori antara agregat ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir. Untuk rancangan campuran di laboratorium dipergunakan kadar aspal tengah/ideal. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran. Perkiraan awal kadar aspal rancangan dapat diperoleh dari rumus:

$$Pb = 0,035(\% CA) + 0,045(\% FA) + 0,18(\% Filler) + K \quad (2-1)$$

Keterangan:

- Pb* : % kadar aspal awal terhadap berat total campuran
- %CA* : % agregat kasar (*coarse aggregate*) terhadap berat total agregat
- %FA* : % agregat halus (*fine aggregate*) terhadap berat total agregat
- %Filler* : % *filler* terhadap berat total agregat
- K* : nilai konstanta kira-kira 2,0 – 3,0 untuk HRS-WC

2.10 Metode Perencanaan Campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*)

Perencanaan campuran tentunya diperlukan untuk memenuhi spesifikasi. sehingga diharapkan dapat menghasilkan campuran yang memenuhi kriteria yang baik dan agregat yang tersedia. Metode perencanaan campuran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode Standar Bina Marga. Metode ini dipakai untuk menghitung perkerasan aspal yang digelar di atas *subgrade* yang telah dipadatkan (sistim dua lapisan).

Rencana ketebalan didasarkan kepada pembahasan berikut:

1. Perpanjangan relatif horizontal pada lapisan di bawah aspal, untuk mengurangi retak akibat kelelahan pada *asphalt concrete*.
2. Tegangan tekanan vertikal pada permukaan lapisan subgrade, untuk mengurangi gaya-gaya yang mengakibatkan rutting pada permukaan.

Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang harus memenuhi lengkung Fuller. Gradasi gabungan yang dipergunakan pada metode ini adalah agregat bergradasi baik atau menerus.

Dari data analisa butiran masing-masing jenis material, selanjutnya dapat direncanakan bagaimana komposisi perbandingan campuran gabungan yang memenuhi persyaratan gradasi. Banyak cara untuk merencanakan komposisi perbandingan campuran. Cara tersebut adalah:

1. Cara diagonal

Prinsip dan langkah dan cara diagonal adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui gradasi ideal yang akan digunakan dan persyaratan gradasi yang ditentukan.
- b. Menggambar empat persegi panjang dengan ukuran (10 x 20) cm pada milimeter blok.
- c. Membuat garis diagonal dan ujung kiri bawah ke ujung kanan atas.
- d. Sisi vertikal menyatakan persen lolos saringan dengan skala 0 di bawah dan 100 di atas.

- e. Dengan melihat spesifikasi ideal, tiap-tiap nilai ideal tersebut diletakkan pada garis diagonal berupa titik.
- f. Dan tiap titik pada diagonal ditarik garis vertikal untuk menempatkan nomor-nomor saringan.
- g. Digambar grafik gradasi dan masing-masing fraksi yang akan dicampur.
- h. Untuk menentukan persentase agregat kasar, dilihat dan jarak antara grafik gradasi kasar terhadap tepi bawah dan jarak grafik sedang terhadap tepi atas yang harus sama pada suatu garis lurus.
- i. Pada garis tersebut ditarik garis vertikal yang memotong garis diagonal. Kemudian dari titik potong ini ditarik garis horizontal yang memotong garis tepi, sehingga didapat persentase agregat kasar yang diperlukan.
- j. Langkah h dan i diulangi untuk mendapatkan persentase agregat halus dan bahan pengisi (*filler*).

Setelah diperoleh komposisi dan setiap jenis fraksi agregat, dibuat suatu tabel hasil analisa gabungan agregat, dimana persentase masing-masing fraksi yang akan digunakan diperoleh dan hasil perkalian dengan persentase lolos untuk masing-masing nomor saringannya. Kemudian dijumlahkan untuk masing-masing nomor saringan lalu dilihat apakah gradasi tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan sesuai jenis campuran yang akan dibuat. Hasil penggabungan agregat diusahakan mendekati *ideal spec*. Jika melalui grafik diagonal belum tepat, maka digunakan cara coba-coba (*Trial and Error*), yaitu menentukan terlebih dahulu persentase dan masing-masing agregat (tanpa mengubah persen lolos), kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian

persentase dengan persen lolos dan agregat. Selanjutnya hasil perkalian tersebut masing-masing dijumlahkan dan dilihat apakah hasilnya mendekati nilai *ideal spec*. Selanjutnya dibuat grafik penggabungan agregat dan grafik spesifikasinya, setelah itu dihitung berat masing-masing fraksi yaitu persentase fraksi dikali dengan kapasitas *mould*.

Berat masing-masing fraksi campuran ini, dibagi-bagi lagi berdasarkan ukuran saringan sesuai dengan persentase tertahan agregatnya yang akan digunakan untuk pembuatan briket benda uji.

2. Cara coba-coba (*Trial and Error*)

Prinsip dan langkah dan cara coba-coba (*Trial and Error*) adalah sebagai berikut:

- a. Memahami batas gradasi yang disyaratkan.
- b. Memasukkan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi unit.
- c. Memasukkan persentase lolos saringan, masing-masing jenis agregat ke dalam persentase lolos.
- d. Memasukkan spesifikasi ideal pada kolom *target value*, yaitu nilai salah satu dan spesifikasi ideal yang disyaratkan.
- e. Mengambil dari salah satu spesifikasi ideal dengan jenis yang ada, dalam hal ini agregat kasar, sedang dan halus kemudian dicampur ketiganya dengan jumlah 100% dan nilai gabungannya mendekati nilai spesifikasi ideal yang kita ambil tadi.

- f. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dan ketiga agregat, yang lain dihitung atau digabung dengan persentase yang sama. Sehingga dapat dipergunakan sebagai gradasi untuk campuran aspal panas.

3. Cara Grafis

Prinsip dan langkah dan cara grafis adalah sebagai berikut:

- a. Membuat kotak dengan ukuran bujur sangkar (10 x 10) cm sebanyak dua buah pada milimeter blok.
- b. Untuk sisi kiri merupakan persen agregat kasar.
- c. Plot pada garis paling tepi titik-titik dan masing-masing nomor saringan untuk agregat sedang.
- d. Gabungkan masing-masing titik/nomor saringan yang sama.
- e. Pada garis-garis penghubung tersebut ditentukan batas spesifikasi.
- f. Tentukan batas maksimum dan minimum yang paling dekat terhadap garis agregat kasar dan agregat sedang yang paling dekat.
- g. Dan batas maksimum dan minimum tersebut ditarik garis vertikal.
- h. Tarik yang membagi membatasi dua daerah maksimum dan minimum sehingga dan garis ini, dapat ditentukan persen agregat kasar dan halus.
- i. Pada bujur sangkar yang ke dua tarik garis mendatar untuk memindahkan nomor-nomor saringan.
- j. Pada garis sisi kanan sebagai agregat halus, tentukan titik-titik pada garis tersebut sesuai ukuran saringan.
- k. Hubungkan kedua titik pada garis agregat kasar dan agregat halus serta agregat sedang.

- l. Cari harga maksimum dan minimum yang mempunyai jarak terdekat.
- m. Tarik garis vertikal dan masing-masing titik maksimum dan minimum tersebut.
- n. Tarik garis pembagi dua, sehingga dapat ditentukan persentase agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus.

Setelah didapat perbandingan komposisi dan masing-masing agregat maka selanjutnya akan dibuat beberapa contoh campuran dengan variasi kadar aspal. Bruce Marshall mengembangkan suatu metode untuk pembuatan dan pengujian benda uji. Metode inilah yang akhirnya dikenal dengan istilah “Metode Marshall”.

Pemeriksaan terhadap benda uji (*briket*) dilakukan dengan alat Marshall. Untuk menentukan ketahanan/stabilitas terhadap kelelahan plastis (*flow*) dan campuran aspal dan agregat. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) yang berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 pound proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur stabilitas campuran dan terdapat pula arloji lelehan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

2.11 Pengujian Campuran Metode *Marshall*

Pengujian marshall adalah suatu metode pengujian untuk mengukur ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. Nilai stabilitas minimal sebesar 600 kg dan nilai *flow* minimal 2,4 mm (Spesifikasi Bina Marga 2018). Aspal beton dibentuk dari agregat, aspal dan atau

tanpa bahan tambah yang dicampur secara merata pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat. Sifat-sifat campuran beton aspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian karakteristik marshall antara lain:

1. Stabilitas Marshall

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram.

2. Kelelahan (*Flow*)

Flow adalah besarnya penurunan atau deformasi vertical benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFA. Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya interlocking resistance campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

3. Kepadatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar disbanding dengan campuran yang dimiliki nilai *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kotak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antara butiran agregat menjadi besar. Nilai kepadatan/*density* dihitung dengan rumus:

$$g = c/f \quad (2.2)$$

$$f = \frac{d-e}{1gr/cc} \quad (2.3)$$

Keterangan :

g = berat volume benda uji (gr/cc)

c = berat kering/sebelum direndam (gr)

d = berat benda uji jenuh air (gr)

e = berat benda uji dalam air (gr)

f = volume benda uji (cc)

4. Berat jenis maksimum campuran teoritis (Gmm)

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal.

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pa}{Ga}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_{mm} = Persen berat total campuran (100)

P_s = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

P_a = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

G_{se} = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat.

G_a = Berat jenis aspal

5. Berat jenis bulk aspal beton padat (G_{mb})

Berat jenis bulk dari aspal beton padat (G_{mb}) dapat diukur dengan menggunakan

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (2.5)$$

Keterangan:

G_{mb} = Berat jenis bulk dari aspal beton padat

B_k = Berat kering aspal beton

B_{ssd} = Berat kering permukaan dari aspal beton yang telah didapatkan,

B_a = Berat aspal beton padat di dalam air

6. Rongga Udara dalam campuran (*Voids in Mix*, VIM)

VIM adalah rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 \times \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \quad (2.6)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran padat (%).

Gmm= Berat jenis maksimum campuran (gr/cc).

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc).

7. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap nilai kekauan atau kelenturan campuran. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan sedangkan, nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan bleeding.

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{MS}{MF} \quad (2.7)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = *Flow Marshall* (mm)

8. Rongga Antar Agregat (*Void in the Mineral Agregat, VMA*)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasaan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa memperlihatkan masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah

stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. VMA dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \quad (2.8)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk agregat, (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

- b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100+Pb} \times 100 \right) \quad (2.9)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk agregat, (gr/cc)

Pb : Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran, (%)

9. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled With Bitumen*, VFB)

Void Filled With Bitumen (VFB) merupakan persentase rongga terisi aspal pada acampuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFB dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFB berpengaruh pada sifat

kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran
 Nilai VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFB = \left(\frac{100(VMA-VIM)}{VMA} \right) \quad (2.10)$$

10. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (*stabilitas iadn flow*) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60 selama waktu T1 dan kelompok kedua uji setelah perendamannya pada suhu 60 selama T2. Kemudian ditentukan Indeks kekuatansisa (IKS) Maarshallnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \% \quad (2.11)$$

Keterangan:

S_1 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 menit

S_2 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 menit

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

2.12 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu

Sebelum “Pemanfaatan limbah abu terbang batu bara (*fly ash*) sebagai bahan pengisi (filler) dalam campuran aspal dilakukan, sebenarnya telah ada beberapa penelitian terdahulu yang cukup erat kaitannya dengan penelitian ini.

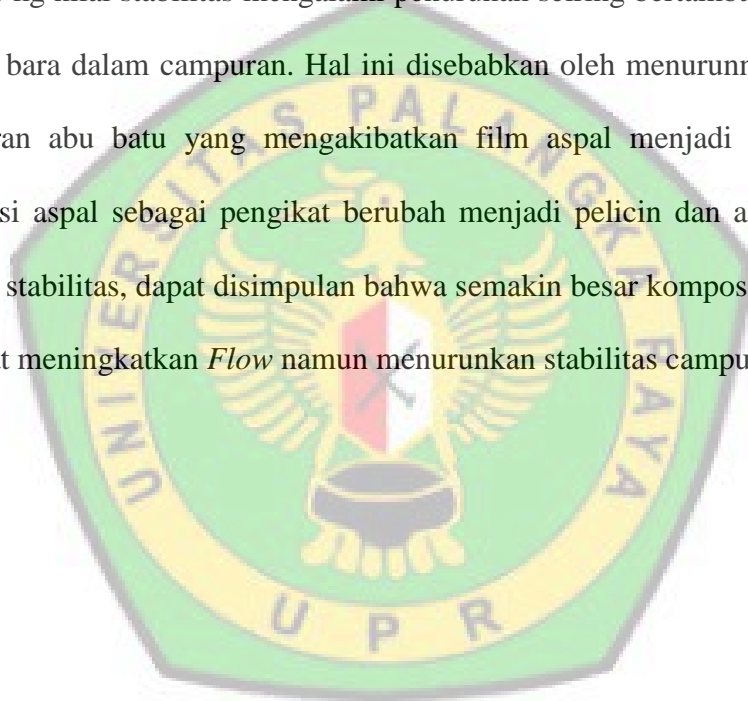
Penelitian-penelitian tersebut diantaranya:

1. Sugeha (2018) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul “**Pemanfaatan Limbah Abu Batubara Sebagai Filler Pada Campuran Laston**”. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium transportasi dan jalan raya jurusan teknik sipil universitas Tanjung Pura dan di laboratorium unit pengujian mutu dan pengembangan jasa konstruksi (UPMPJK) Dinas PU Prov. Kalbar, dengan tujuan meninjau dampak dari perbandingan antara kedua campuran dengan menggunakan *filler* abu batubara dan Semen Portland dalam campuran lapisan AC-WC. Untuk kedua bahan pengisi tersebut masing-masing dibuat benda uji sebanyak 15 buah, dengan kadar aspal rentang 5-7% dan benda uji direndam selama 30 s/d 40 menit dengan suhu air 60°C bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar Aspal optimum dari kedua campuran tersebut. Dari hasil pengujian kedua campuran dengan *filler* yang berbeda, ternyata hasil yang di dapat memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh. Ternyata dari hasil kedua campuran dengan *filler* berbeda menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda namun dari hasil tersebut semuanya masih memenuhi standar spesifikasi umum 2010 dinas pekerjaan umum Direktorat Jendral Bina Marga. Hasil akhir menunjukkan bahwa dengan menggunakan *filler* abu batubara ternyata tidak terlalu berpengaruh terhadap kekuatan campuran. Dan dari hasil kadar Aspal optimum yang didapat dengan menggunakan *filler* abu batubara memiliki hasil yg lebih rendah 6,55% dari *filler* pembanding yaitu 6,85%. Pada kadar aspal 6,5%, untuk campuran aspal dengan *filler* abu batubara dan Semen Portland semua parameter masuk dalam spesifikasi. Hasil Analisa dapat

dilihat pada kadar Aspal tersebut campuran dengan *filler* abu batubara memiliki Nilai stabilitas sebesar 1585,0 Kg, Flow 3,8 mm, VIM 4,3%, VFB 76,3%, VMA 18,0%, dan MQ 420,7. Hasil Analisa dengan *filler* Semen Portland pada kadar aspal yang sama didapat hasil stabilitas sebesar 1399,2 Kg, Flow 3,6 mm, VIM 4,7%, VFB 76,0%, VMA 19,5% dan MQ sebesar 395,7 kg. Abu batubara dapat dijadikan alternatif untuk penggunaannya sebagai *filler* karena karakteristik laston yang dihasilkan hampir sama dengan *filler* yang biasa dipakai yaitu Semen Portland, dimana nilai-nilai yang dihasilkan masuk dalam spesifikasi. Meskipun penggunaan *filler* dari abu batubara mampu memberikan karakteristik Laston yang lebih baik, namun penggunaannya dilapangan harus dipertimbangkan mengingat abu batubara adalah limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

2. Zulfhazli (2016) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul **“PENGUNAAN ABU BATUBARA SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC”**. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium jalan raya jurusan/program studi teknik sipil fakultas teknik universitas Malikussaleh, Tujuannya dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan nilai Parameter Marshall akibat pengaruh penggunaan abu batubara sebagai pengganti *filler* dengan beberapa variasi campuran. Metode penelitian menggunakan Metode Marshall dengan rujukan Spesifikasi Bina Marga tahun 2010 Revisi 2. Hasil penelitian menggambarkan nilai Flow pada campuran aspal mengalami peningkatan pada variasi 25% abu batu bara dengan nilai sebesar 3,30 mm dan kemudian meningkat sebesar 0,91% menjadi 3,33 mm

pada variasi 50%, kemudian terus meningkat seiring bertambahnya kadar abu batubara dalam campuran, hal ini disebabkan nilai VIM dapat menerima kadar abu batu bara bertambah dan rongga dalam campuran bertambah licin. Sedangkan nilai stabilitas pada campuran aspal mengalami penurunan dimulai pada kadar 25% abu batu bara nilai stabilitas sebesar 1431 kg kemudian menurun sebesar 70,79% pada kadar 50% abu batu bara sebesar 1418 kg nilai stabilitas mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar abu batu bara dalam campuran. Hal ini disebabkan oleh menurunnya penggunaan butiran abu batu yang mengakibatkan film aspal menjadi tebal, sehingga fungsi aspal sebagai pengikat berubah menjadi pelicin dan akan menurunkan nilai stabilitas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar komposisi abu batubara dapat meningkatkan *Flow* namun menurunkan stabilitas campuran.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam lapisan Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheett-Wearing Course*). Dalam penelitian di laboratorium diadakan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi campuran Lataston Lapis Lapis Aus (*Hot Rolled Sheett-Wearing Course*) yang memenuhi spesifikasi. Data yang dihasilkan digunakan untuk perancangan campuran, selanjutnya dibuat benda uji untuk dilakukan uji *Marshall* sehingga diketahui karakteristik campuran tersebut.

3.2 Waktu dan Tempat Pengujian

Penelitian ini dilakukan selama ± 2 bulan di laksanakan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.3 Langkah-langkah Penelitian

Langkah pertama yang akan dilakukan dalam penelitian adalah persiapan alat untuk pelaksanaan di laboratorium dan persiapan material seperti agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70 dan bahan pengisi yang biasa di sebut dengan *filler*. Setelah alat dan material sudah disiapkan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian material untuk memenuhi karakteristik material

tersebut, lalu melakukan proporsi agregat untuk memperoleh agregat yang memenuhi spesifikasi. Untuk pengujian bahan pengisi (*filler*) dilakukan pengujian berat jenis saja untuk membuat proporsi campuran.

Berdasarkan proporsi agregat dicari nilai persentase kadar aspal dalam campuran dan dibuat rancangan benda uji. Setelah pembuatan benda uji, maka akan dilanjutkan dengan pengujian karakteristik *Marshall*. Dari hasil pengujian tersebut maka akan didapatkan data serta kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum inilah yang akan digunakan untuk campuran yang menggunakan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan pengisi (*filler*). Setelah membuat sampel dan perhitungan karakteristik sampel campuran, maka akan didapatkan data yang nantinya dapat dianalisis dan ditarik kesimpulan.

3.4 Pengambilan Data Sampel

Pengambilan data dilakukan dengan membuat briket/benda uji sebanyak 30 buah. Benda uji tersebut dibagi dalam 2 kali percobaan.

1. Percobaan pertama dibuat 15 briket/benda uji yang terdiri dari 1 macam komposisi terbaik yang mendekati spesifikasi dengan 5 variasi kadar aspal. Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah briket/benda uji yang kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk kemudian didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO). Dalam percobaan pertama ini, bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam campuran adalah Abu Batu.
2. Percobaan kedua, Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat pada percobaan pertama dipergunakan sebagai kadar aspal untuk memuat 15 buah briket/benda uji, yang terdiri dari 5 variasi persentase berat abu terbang

batubara terhadap berat agregat yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO), yaitu berat abu terbang batubara dengan persentasi 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%. Tiap variasi persentase berat abu terbang batubara (*fly ash*) dibuat 3 buah briket/benda uji. Pembuatan dan pengujian briket/benda uji ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.5 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Material berupa agregat ex.Palu pada *stockfile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT. Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka Raya-Kuala Kurun KM 40 Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau.
2. Material agregat halus berupa pasir Ex. Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu Desa Tumbang Tahai bertepatan di Km.20 Jalan Tjilik Riwut.
3. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.
4. Abu terbang Batubara (*fly ash*) sebagai bahan pengisi (*filler*) yang akan digunakan pada percobaan ke dua di ambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pulang Pisau 2X60MW Jalan Tingang Menteng, Desa Mintin Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah.

3.6 Alat-alat Penelitian

3.6.1 Alat untuk Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

- a. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan gradasi agregat:

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,2 % dan benda uji, berguna untuk menimbang bahan.
- 2) Satu set saringan meliputi saringan dengan ukuran 19 mm (3/4”), 12,5 mm (1/2”), 9.5 mm (3/8”), No.8, No.30, No.200.
- 3) Oven, mesin pengguncang saringan, stopwatch, talam-talam, kuas, sikat, sendok dan alat-alat lainnya.

b. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

1) Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar:

- a) Keranjang kawat yang berukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No.6 atau No.8) dengan kapasitas 5 kg. Keranjang berguna untuk meletakkan sampel dan tempat pengayak dari sisa air.
- b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, berguna untuk merendam bahan uji.
- c) Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang. Berguna untuk menimbang bahan yang akan diuji.
- d) Oven yang dilengkapi dengan pengaturan suhu sampai $((110 \pm 5)^{\circ}\text{C})$, dan alat pemisah contoh saringan No.8.

2) Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus:

- a) Timbangan dengan kapasitas 1 kg atau lebih, piknometer dengan kapasitas 500 ml, kerucut terpancung dengan diameter (90 ± 3) . Peralatan yang digunakan diatas berguna untuk pemeriksaan berat jenis. Timbangan untuk menimbang bahan, piknometer untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida dan kerucut terpancung untuk mengisi benda uji.
- b) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 1) kg dengan diameter permukaan (25 ± 3) . Berguna untuk memadatkan benda uji yang dimasukkan kedalam kerucut terpancung.
- c) Saringan No.4, talam, bejana tempat air, oven pengukur suhu, tungku pemanas, (*hot plate*), *stopwatch* dan lap bersih.

c. Pengujian Keausan Agregat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian keausan agregat kasar:

- 1) Mesin Los Angeles dan bola-bola dengan diameter rata-rata 4,68 cm dan berat masing masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram sebanyak 12 buah. Bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 terhadap berat semula dalam persen.
- 2) Saringan No.12 dan saringan-saringan lainnya. Berguna untuk menyaring bahan sesuai dengan ketentuan lolos saringan.

- 3) Timbangan dan oven dengan pengaturan suhu. Berguna untuk menimbang bahan dan oven berguna sebagai pengering benda uji sampai suhu yang sudah ditentukan.

d. Pemeriksaan Kadar Lempung pada Agregat Halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan kadar lempung pada agregat halus:

- 1) Tabung *sand equivalent*, beban equivalen dan larutan standar. Berguna untuk mengetahui kadar lempung yaitu dengan memasukkan bahan kedalam tabung *sand equivalent* kemudian dimasukkan larutan standar.
- 2) Talam, saringan No.8, sumbu karet gabus, corong dan stopwatch.
- 3) Talam berfungsi sebagai tempat menaruh sampel, saringan No.8 sebagai pemeriksaan ini untuk agregat yang lolos saringan No.8, karet gabus sebagai penutup tabung *sand equivalent* ketika dikocok dan *stopwatch* berfungsi sebagai pengukur waktu ketika tabung *sand equivalent* dikocok.

e. Pemeriksaan Gradasi, Berat Jenis dan Penyerapan *filler*

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan gradasi *filler*:

1. Saringan terdiri dari dua ukuran yang bagian bawah dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) dan di atasnya, saringan Nomor 16 (1,18 mm).
2. Wadah untuk mencuci mempunyai kapasitas yang dapat menampung benda uji sehingga pada waktu pengadukan (pelaksanaan pencucian) benda uji dan air pencuci tidak mudah tumpah.
3. Timbangan dengan ketelitian maksimum 0,1 % dari berat benda uji.

4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 - 5)^{\circ}\text{C}$.

3.6.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji

a. Pembuatan benda uji

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji:

- 1) Sejumlah cetakan benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan pelat alas dan leher sambung. Berfungsi untuk cetakan benda uji dan pelat alas sebagai alas benda uji.
- 2) Alat pengukur benda.
- 3) Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh beban 45,7 cm. Berfungsi menumbuk benda uji dengan ketinggian yang telah ditentukan.
- 4) Landasan pematik terdiri dari balok kayu dan dilapisi dengan pelat baja.
- 5) Oven dengan pengatur suhu, kompor, timbangan, wajan, talam-talam, sendok pengaduk, thermometer, kertas saring dan sarung tangan.

b. Pemeriksaan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan benda uji:

- 1) Timbangan yang dilengkapi dengan keranjang bergantung berkapasitas 5 kg. Berguna untuk menimbang benda uji.
- 2) Bak perendam (*water bath*), yang dilengkapi dengan pengatur suhu. Berguna untuk tempat merendam benda uji.
- 3) Alat Marshall yang dilengkapi dengan

- a) Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung . berguna untuk menekan benda uji agar diketahui nilai tekanannya.
- b) Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 pound dilengkapi dengan arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm. Digunakan untuk mengukur nilai stabilitas.
- c) Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 beserta kelengkapannya. Berguna untuk mengukur tingkat kelelahan benda uji.

3.7 Waktu dan Tempat Pengujian

Penelitian ini dilakukan selama \pm 2 bulan bertempat di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.8 Pemecahan dan Pengayakan Agregat

Pemecahan dan pengayakan agregat dikerjakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Agregat dari batu alam dicacah menggunakan mesin pencacah.
2. Hasil cacahan tersebut kemudian diayak atau disaring dan di proporsikan sesuai gradasi yang dipergunakan.
3. Jenis agregat dari batu alam disesuaikan dengan ketersediaan material hasil pencacahan. Adapun perencanaan jenis agregat dikerjakan sebagai berikut:
 - a. Agregat kasar, agregat halus direncanakan menggunakan agregat standar yaitu batu pecah.

- b. Bahan pengisi menggunakan agregat standar abu batu pada percobaan pertama.
- c. Abu Terbang Batubara (*fly ash*) digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada percobaan kedua setelah Kadar Aspal Optimal (KAO) pada percobaan pertama di dapat, dengan variasi penambahan 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% terhadap berat agregat.

3.9 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat harus dilakukan pada suatu perencanaan campuran yang akan dipergunakan pada lapisan perkerasan. Agregat dapat digunakan untuk bahan perkerasan, apabila telah melalui pemeriksaan dan memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan.

Pemeriksaan terhadap agregat tersebut dilakukan untuk memperoleh data yang akan digunakan pada perencanaan campuran. Data yang diperlukan dalam perencanaan campuran meliputi : data gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lempung yang terkandung dalam agregat.

3.9.1 Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada metode pemeriksaan gradasi agregat kasar maupun halus menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1968-1990. Peralatan yang digunakan adalah : timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah contoh, mesin pengguncang saringan, *stopwatch*, talam, kuas sikat, sendok dan lain-lain.

Adapun langkah-langkah pemeriksaan gradasi agregat adalah:

- a. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai berat tetap selama ± 24 jam.
- b. Sampel ditimbang sesuai kebutuhan masing-masing 1 kg untuk agregat kasar dan agregat halus (abu batu). Khusus untuk kombinasi, sampel ditimbang masing-masing 500 gram.
- c. Sampel dicuci sampai bersih, kemudian air dibuang secara hati-hati di atas saringan No.200, agregat yang tertahan pada saringan dikembalikan pada wadah pencucian.
- d. Sampel dikeringkan sampai berat tetap dalam oven dengan suhu 110°C, kemudian didinginkan dalam suhu ruangan.
- e. Saring sampel lewat satu set saringan. Saringan dengan nomor saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan mesin penguncang saringan selama ± 15 menit, kemudian diamkan selama ± 5 menit.
- f. Sampel yang tertahan pada setiap nomor saringan masing-masing ditimbang dan selanjutnya dilakukan perhitungan persentase berat sampel masing-masing saringan terhadap berat total sampel setelah disaring.

3.9.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat dibagi atas:

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pada pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standart pemeriksaan yaitu SNI 03-1969-2016. Pemeriksaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*),

berat jenis kering dipermukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, berat jenis semu (*apparent*) dan penyerapan agregat kasar. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan 1” dan tertahan pada saringan No.8.

Adapun prosedur pelaksanaan dan pemeriksaan ini:

- 1) Timbangan sampel kering oven seberat 5 kg.
- 2) Cuci sampel sampai bersih dengan hati-hati supaya tidak ada yang terbang.
- 3) Keringkan sampel dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- 4) Keluarkan sampel dan dinginkan selama 1-3 jam pada suhu ruangan, kemudian timbang dan catat beratnya sebagai (Bk).
- 5) Rendam sampel dalam air selama ± 24 jam.
- 6) Keluarkan sampel dari dalam air, kemudian keringkan/anginkan sampel sampai kering permukaan jenuh.
- 7) Timbang sampel kering permukaan jenuh dan catat beratnya sebagai (Bj).
- 8) Timbang sampel dalam air dan catat beratnya sebagai (Ba).

Perhitungan berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Bj.kering Oven (bulk)} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3-1)$$

$$\text{Bj.kering permukaan} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (3-2)$$

$$\text{Bj.semua} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \quad (3-3)$$

$$\text{Penyerapan agregat} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3-4)$$

b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1970-2016. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh atau *saturated surface dry (SSD)*, berat jenis semu (*apparent*) dan penyerapan air agregat halus. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan No.8.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian sebagai berikut:

- 1) Timbang sampel kering oven sebanyak 1 kg.
- 2) Rendam sampel dalam air selama 24 jam.
- 3) Buang air perendaman dengan hati-hati supaya butiran tidak ada yang hilang.
- 4) Hamparkan sampel di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membolak-balika sampel. Lakukan pengeringan sampai terjadi keadaan kering permukaan jenuh.
- 5) Pemeriksaan sampel pada keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan sampel ke dalam kerucut terpancung dalam tiga lapis dan padatkan 25 tumbukan.
- 6) Angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila sampel mengalami keruntuhan akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- 7) Timbang sampel seberat 500 gram dan masukan ke dalam piknometer.

- 8) Isi piknometer dengan air suling sampai sampel terendam seluruhnya.
- 9) Letakkan piknometer di atas pelat pemanas (*hot plate*) kemudian didihkan selama 10 menit untuk mengeluarkan udara yang terserap di dalam sampel.
- 10) Dinginkan piknometer yang berisi sampeldan rendam piknometer dalam air dengan suhu 25°C sampai suhu di dalam piknometer menunjukkan 25°C
- 11) Tambahkan air suling sampai tanda batas kalibrasi dan keringkan bagian luar piknometer dengan lap bersih, kemudian timbang piknometer yang berisi sampel dan air suling (Bt).
- 12) Keluarkan sampel dan keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 13) Keluarkan sampel dalam oven, dinginkan kemudian ditimbang (Bk).
- 14) Isi piknometer dengan air suling sampai batas kalibrasi dan timbang (B).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Bj. Kering oven (bulk)} = \frac{Bk}{B + 500 - Bt} \quad (3-5)$$

$$\text{Bj.Kering Permukaan} = \frac{500}{B + 500 - Bt} \quad (3-6)$$

$$\text{Bj.semua (apparent)} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \quad (3-7)$$

$$\text{Penyerapan Agregat} = \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3-8)$$

3.9.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pada metode pengujian keausan agregat kasar menggunakan standar pengujian yaitu SNI 03-2417-2008. Pada penelitian ini pengujian keausan agregat kasar berupa batu pecah dimana banyaknya sampel terdiri dari 5000 gram.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian keausan agregat kasar:

- a. Timbang sampel secukupnya kemudian dicuci sampai bersih.
- b. Keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- c. Timbang sampel sebanyak 5000 gram sesuai gradasi atau spesifikasi yang digunakan.
- d. Masukkan sampel kedalam mesin Los Angeles.
- e. Masukkan bola-bola baja sebanyak 12 buah sesuai dengan spesifikasi yang digunakan.
- f. Putar mesin Los Angeles dengan jumlah putaran 500 kali.
- g. Keluarkan sampel dalam molen, kemudian saring dengan saringan No.12.
- h. Material yang lolos saringan No.12 dibuang, sedangkan material yang tertahan saringan No.12 langsung dicuci sampai bersih kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- i. Keluarkan sampel dari dalam oven dan dinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang.

Dari hasil percobaan ini, nilai keausan agregat kasar dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3-9)$$

Keterangan:

- a = berat total sampel semula (500 putaran)
- b = berat sampel yang tertahan saringan No.12

3.9.4 Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus

Pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan kadar lempung yang dikandung oleh agregat yang lolos saringan No.8, sesuai prosedur AASHTO T.176-73(1982), dengan menggunakan tabung *sand equivalent*.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian kadar lempung:

- a. Ambil sampel (abu batu) sebanyak 85 ml kemudian keringkan di dalam oven dengan suhu 110°C dan dinginkan pada suhu ruang.
- b. Isi tabung *sand equivalent* dengan larutan standar setinggi 5 strip (skala tabung *sand equivalent*), kemudian masukkan sampel kedalam tabung *sand equivalent*, ketuk-ketuk beberapa saat kemudian diamkan selama 10 menit.
- c. Tutup tabung *sand equivalent* dengan penutup karet atau kayu gabus, kemudian dimiringkan sampai arah hamper mendatar dan kocok sebanyak 90 gerakan sejauh 200 mm pada arah mendatar.
- d. Masukkan lagi larutan standar melalui selang ke dalam tabung sampai setinggi skala 15, kemudian diamkan selama 20 menit.
- e. Baca skala pembacaan lumpur.
- f. Masukkan beban *equivalent* secara perlahan –lahan sampai beban tersebut berhenti.
- g. Baca skala setelah pembebanan.

Perhitungan untuk nilai sand equivalent dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai sand equivalent} = \frac{\text{Skala pasir}}{\text{Skala Lempung}} \times 100\% \quad (3-10)$$

3.10 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran menggunakan metode *Marshall* yang bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar dari perencanaan ini adalah gradasi agregat campuran. Kadar optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan *Marshall* di Laboratorium terhadap beberapa benda uji dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan proporsi gradasi tetap.

Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan cara grafik atau analitis dengan menggunakan rumus:

$$P = Aa + Bb + Cc + Dd \quad (3-11)$$

Keterangan :

P = Persen material lolos saringan X dari kombinasi A, B, C, D

A, B, C, D = Persen material lolos saringan X untuk agregat A, B, C, D

a, b, c, d = Proporsi Agregat A, B, C, D dalam campuran

$$a + b + c + d = 1$$

Adapun urutan perencanaan campuran pada penelitian ini:

1. Penentuan proporsi komposisi campuran terhadap total agregat.
2. Dari hasil perhitungan proporsi/komposisi campuran, selanjutnya dilakukan dengan variasi kadar aspal (5 variasi kadar aspal) yaitu berdasarkan kadar aspal yang ditentukan spesifikasi.

3. Membuat briket/benda uji untuk setiap campuran (untuk variasi 1 kadar aspal dibuat 3 buah briket) dengan cara dicetak dan ditumbuk dengan alat khusus.
4. Pemeriksaan benda uji meliputi : keadaan campuran, berat isi campuran, besarnya pori/rongga dalam campuran (*voids in mixture* atau VIM) besarnya pori/rongga yang terisi aspal (*voids filled bitumen* atau VFB), kekuatan (*stability*) campuran dan besarnya keleshan (*flow*).

3.11 Pengujian Abu Terbang Batubara

Pengujian terhadap Abu Terbang Batubara adalah pengujian analisis saringan *filler* atau bahan yang lolos saringan No. 200.

3.11.1 Pengujian Analisis Saringan *Filler*.

Pengujian analisis saringan, Berat Jenis dan Penyerapan *Filler* terhadap abu terbang batubara mengacu pada Pengujian analisa saringan *filler* (SNI-03-4142-1996) adapun alat-alat yang di perlukan:

1. Saringan terdiri dari dua ukuran yang bagian bawah dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) dan di atasnya, saringan Nomor 16 (1,18 mm).
2. Wadah untuk mencuci mempunyai kapasitas yang dapat menampung benda uji sehingga pada waktu pengadukan (pelaksanaan pencucian) benda uji dan air pencuci tidak mudah tumpah.
3. Timbangan dengan ketelitian maksimum 0,1 % dari berat benda uji.
4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 - 5)°C.

Adapun pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Timbang wadah tanpa benda uji.
2. Timbang benda uji dan masukan ke dalam wadah.
3. Masukan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam.
4. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan air pencuci sehingga mempermudah memisahkannya.
5. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan Nomor 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
6. Ulangi pekerjaan butir (3), (4) dan (5), sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih.
7. Kembalikan semua benda Uji yang tertahan saringan Nomor 16 (1.18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh.
8. Hitung persen bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dengan rumus-rumus perhitungan sebagai berikut:

- 1) berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \quad (3-12)$$

2) berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W5 = W4 - W2 \quad (3-13)$$

3) bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$W6 = \frac{W3 - W5}{W3} \times 100 \quad (3-14)$$

Keterangan:

W1 = berat kering benda uji + wadah (gram);

W2 = berat wadah (gram);

W3 = berat kering benda uji awal (gram);

W4 = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram);

W5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram);

W6 = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).

3.12 Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat

Data hasil pemeriksaan gradasi agregat yang dilakukan dengan posisi menggunakan analisis saringan akan digunakan untuk merencanakan komposisi campuran agregat yang memenuhi persyaratan.

Dalam penelitian ini, ada dua cara perhitungan yang digunakan dalam menentukan proporsi/komposisi campuran:

- a. Cara Diagonal, yaitu berupa perhitungan secara grafis dengan bantuan diagonal untuk memenuhi komposisi campuran.
- b. Cara coba-coba (*Trial and Error*), yaitu secara analitis dengan cara memperkirakan komposisi campuran yang selanjutnya dihitung kombinasi gradasi dari agregat campuran. Apabila kombinasi gradasi masuk pada

spesifikasi yang telah ditentukan, maka komposisi yang dicoba dapat digunakan untuk proporsi/komposisi campuran yang akan diteliti.

Dalam menentukan proporsi/komposisi campuran., perhitungan awal dilakukan dengan menggunakan cara diagonal. Selanjutnya, dari hasil komposisi yang didapat tersebut dikontrol kembali menggunakan *trial and error*. Hal ini untuk melihat proporsi/komposisi gradasi gabungan agregat apakah masuk ke dalam spesifikasi yang telah ditetapkan atau tidak.

3.13 Pembuatan Benda Uji

Pengujian dilakukan dengan 3 benda uji (briket) dengan kadar aspal rencana. Adapun prosedur pembuatan benda uji sebagai berikut:

a. Campuran

- 1) Keringkan agregat kasar, agregat sedang, abu batu menggunakan oven pada suhu $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- 2) Masing-masing agregat yang sudah dikeringkan tersebut ditimbang sesuai dengan besarnya persentase besar komposisi. Berat tetap dalam keadaan normal untuk menghasilkan benda uji dengan ketinggian $\pm 6,25$ cm adalah 1.200 gram.
- 3) Agregat campuran dipanaskan dalam panci pemanas di atas api kompor sampai mencapai suhu antara 160°C – 180°C .
- 4) Aspal dicairkan pada suhu 130°C – 150°C .
- 5) Kemudian aspal cair dituangkan secara hati-hati sesuai dengan berat yang telah ditetapkan ke dalam panci pencampur.

- 6) Campuran tersebut diaduk dengan cepat pada suhu $(145\pm 10)^{\circ}\text{C}$ sampai terlihat seluruh permukaan agregat tertutup aspal semua.

b. Pemadatan benda uji

- 1) Bersihkan cetakan benda uji, oleskan dengan pelumas, diletakkan kertas saring di dasarnya dan bersihkan bagian muka penumbuk.
- 2) Masukkan campuran ke dalam cetakan benda uji (*mold*), kemudian tusuk-tusuk campuran dengan spatula sebanyak 15 kali pada keliling pinggirnya dan 10 kali pada bagian tengah. Waktu dipadatkan suhu campuran harus dalam batas suhu pemadatan $(140\pm 15)^{\circ}\text{C}$.
- 3) Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 50 kali tumbukan dengan tinggi jatuh 45,7 cm, selama pemadatan tahanlah sumbu palu pemadatan agar selalu tegak lurus pada alat cetakan.
- 4) Lepaskan keping alas dan leher penyambung, balikan cetakan berisi benda uji dan pasang kembali, kemudian tumbuklah sebanyak 50 kali.
- 5) Benda uji yang telah cukup dingin dikeluarkan dari *mould* dengan *ejector*.
- 6) Berikan identitas/tanda pengenal pada setiap benda uji agar tidak tertukar.
- 7) Letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan biarkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- 8) Kemudian benda uji ditimbang beratnya dalam suhu ruang dan beratnya ditetapkan.

- 9) Rendam benda uji di dalam air selama 24 jam.
- 10) Timbang benda uji di dalam air dan beratnya ditetapkan.
- 11) Timbang benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (SSD) dan berat ditetapkan.
- 12) Selanjutnya benda uji direndam dalam bak berisi air panas (*water bath*) dengan suhu 60 selama 30-40 menit.
- 13) Kemudian benda uji ditest dengan alat Marshall.

Tabel 3.1 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji	Keterangan
Pb – 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb – 1,0 (%)
Pb – 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb – 0,5 (%)
Pb (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb (%)
Pb + 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb + 0,5 (%)
Pb + 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb + 1,0 (%)
Jumlah		15 Buah

- a. Dari pembuatan benda uji dengan kadar aspal awal sesuai perhitungan Pb didapatkan nilai kadar aspal dan nilai VIM (*Void In Mix*). Setelah itu dilanjutkan dengan uji *Marshall* sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).
- b. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan campuran menggunakan abu terbang batubara (*fly ash*) sebagai bahan tambah *filler* dengan variasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap persentase berat total agregat. Abu

terbang batubara (*fly ash*) harus di lakukan analisis saringan terlebih dahulu hingga memenuhi persyaratan yang di tentukan yaitu sesuai SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 80% dari yang lolos saringan No. 30 (600 micron), kemudian dicampurkan bersamaan dengan campuran dalam aspal dan agregat yang telah dipanaskan terlebih dahulu. Setelah itu dilanjutkan dengan uji *marshall* kembali menggunakan kadar aspal optimum sebanyak 3 buah benda uji/briket tiap variasi persentase abu terbang batubara 1%, 2%, 3%, 4 dan 5%.

Tabel 3.2 Benda Uji dengan Bahan Tambah *fly ash*.

Abu terbang Batubara (<i>fly ash</i>)	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + 1% <i>Fly Ash</i>
2%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + 2% <i>Fly Ash</i>
3%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + 3% <i>Fly Ash</i>
4%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + 4% <i>Fly Ash</i>
5%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + 5% <i>Fly Ash</i>
Jumlah		15 Buah

3.14 Pemeriksaan Benda Uji (Tes *Marshall*)

Pemeriksaan benda uji dengan tes *Marshall* dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran agregat dan variasi kadar aspal.

Adapun urutan pelaksanaan tes *Marshall*:

a. Persiapan Pengujian

- 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
- 2) Timbanglah benda uji yang sebelumnya dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering di udara.
- 3) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
- 4) Setelah direndam selama 24 jam, timbanglah benda uji tersebut untuk mendapatkan berat dalam air.
- 5) Selanjutnya benda uji diangkat dan dilap, kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat dalam keadaan kering permukaan jenuh.

b. Pelaksanaan pengujian

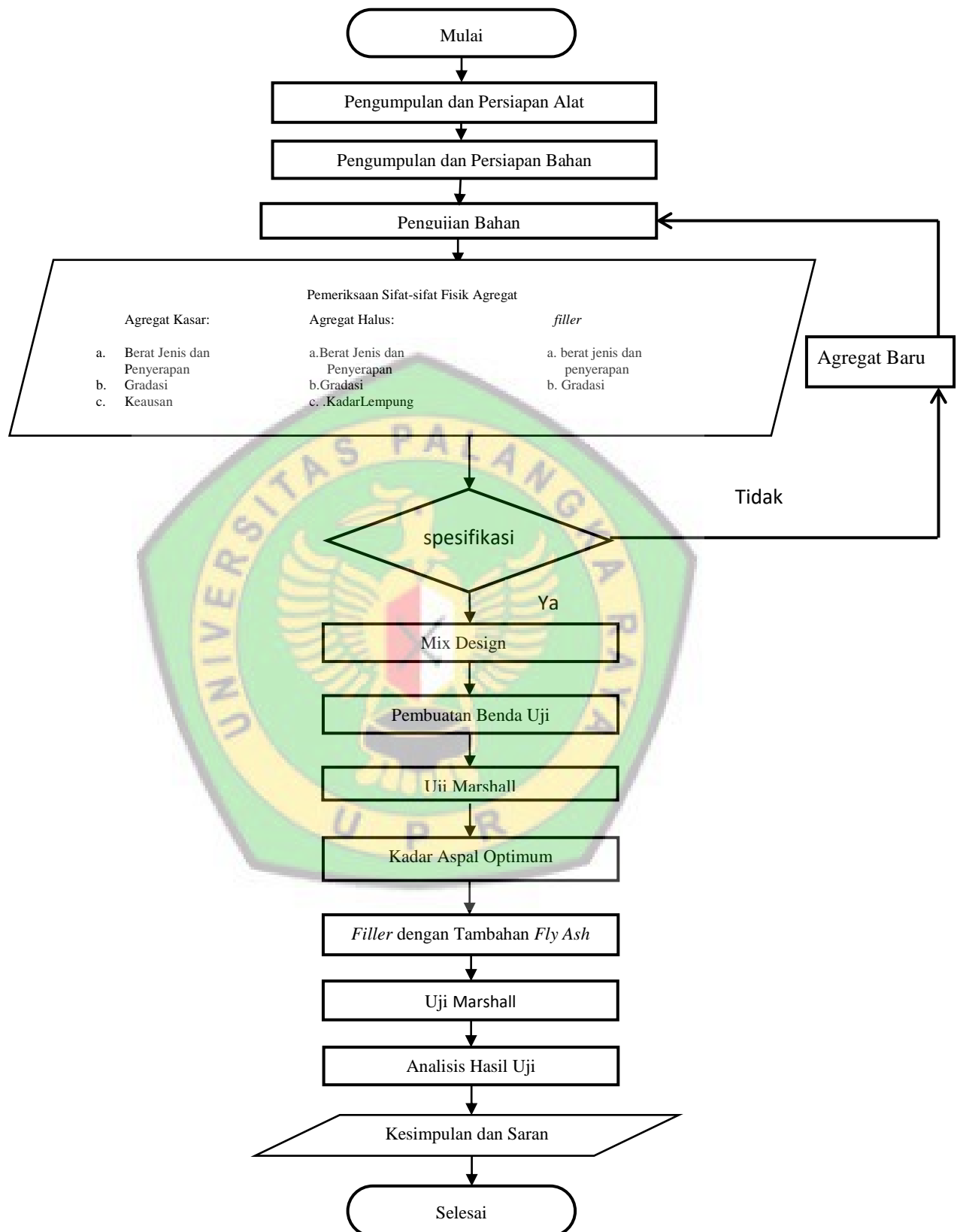
- 1) Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 30-40 menit.
- 2) Sebelum pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan diberi pelumas sehingga kepala penekan dapat meluncur bebas dan mempermudah pelepasan benda uji.
- 3) Keluarkan benda uji dari bak perendam dan segera letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan. Perlu diketahui bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkat benda uji sampai tercapai beban maksimum tidak boleh melebihi 30 menit.
- 4) Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
- 5) Pasang arloji pengukur kelelahan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka

nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.

- 6) Naikkan kepala penekan beserta benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum pembebanan maksimum tercapai.
- 7) Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai.
- 8) Catat angka pembacaan pembebanan maksimum atau stabilitas yang dicapai dan angka pembacaan kelelahan (*flow*) pada saat pembebanan maksimum tercapai.
- 9) Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dari alas *Marshall*.
- 10) Selanjutnya nilai pembacaan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) digunakan dalam perhitungan yang dilakukan dalam tabel perhitungan tes Marshall.

3.16 Bagan Alir Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, maka perlu adanya perencanaan penelitian. Penelitian dilakukan secara bertahap sesuai dengan bagan alir dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya ada beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Material penyusun dalam perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat berupa pemeriksaan gradasi (analisa saringan), berat jenis, penyerapan dan keausan agregat kasar semuanya memenuhi persyaratan spesifikasi, sedangkan Abu Terbang Batubara yang digunakan sebagai bahan tambah *Filler* telah memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga (2018) revisi 2 yaitu lolos saringan No.200.
2. Komposisi terbaik yang dihasilkan dalam perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet- Wearing Course* terdiri dari 31 % agregat kasar, 31% abu batu dan 38% pasir. Pada perencanaan komposisi campuran *Hot Rolled Sheet- Wearing Course* yang diperoleh terdapat agregat yang lolos saringan No. 200 atau bahan pengisi masih belum memenuhi spesifikasi Bina Marga (2018) revisi 2 yaitu minimal 6% dan maksimal 10% dari total berat agregat, hal ini menjadi alasan di lakukan penambahan bahan pengisi (*filler*) yang dalam penelitian ini menggunakan abu terbang batubara (*fly ash*).
3. Hasil Penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall tanpa penambahan bahan pengisi (*filler*) menggunakan komposisi campuran

terbaik dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 7,2% diperoleh nilai karakteristik parameter Marshall sebagai berikut :

- a. Nilai stabilitas pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai stabilitas sebesar 842,75 kg.
 - b. Nilai keelehan (*flow*) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai keelehan sebesar 3,2 mm.
 - c. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai VIM sebesar 4,75 %.
 - d. Nilai rongga terisi aspal (VFB) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai VFB sebesar 76 %.
 - e. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai sebesar 265,5 kg/mm.
 - f. Nilai Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai sebesar 20,20%.
4. Hasil penelitian terhadap Parameter karakteristik Marshall menggunakan komposisi campuran yang sama dan kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 7,2 % dengan penambahan bahan pengisi menggunakan abu terbang batubara dengan variasi penambahan 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% dihasilkan nilai karakteristik parameter Marshall sebagai berikut :

- a. Nilai stabilitas untuk semua variasi kadar penambahan abu terbang batubara memenuhi nilai spesifikasi yang disyaratkan. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada 5% penambahan abu terbang batubara yaitu sebesar 1073,48 kg. nilai stabilitas yang dihasilkan meningkat seiring dengan semakin besarnya penambahan abu terbang batubara (*Fly Ash*).
- b. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) untuk semua variasi penambahan abu terbang batubara yaitu 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% semua memenuhi spesifikasi yang di ijinakan yaitu 3%-5. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) yang dihasilkan cenderung menurun seiring dengan semakin besarnya penambahan abu terbang batubara (*fly ash*) yang digunakan.
- c. Nilai rongga udara terisi aspal (VFB) untuk semua variasi penambahan abu terbang batubara memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai rongga terisi aspal (VFB) tertinggi terdapat pada penambahan abu terbang batubara 5% yaitu sebesar 81,72%. Nilai rongga terisi aspal mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya abu terbang batubara yang digunakan.
- d. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) untuk semua variasi penambahan abu terbang batubara (*Fly Ash*) memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terdapat pada penambahan abu terbang batubara (*Fly Ash*) 5% yaitu sebesar 398,721 kN/mm dan nilai terendah yaitu pada penambahan abu

terbang batubara 1% dengan nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) sebesar 268,210 kN/mm.

e. Nilai Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) untuk semua variasi penambahan abu terbang batubara memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) tertinggi terdapat pada penambahan abu terbang batubara 1% yaitu sebesar 20,477%. Nilai rongga terisi aspal mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya abu terbang batubara yang digunakan.

5. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan terhadap parameter karakteristik Marshall dengan variasi penambahan abu terbang batubara dengan menggunakan grafik hubungan antara parameter campuran aspal dengan persentase penambahan abu terbang batubara yang digunakan untuk menentukan kadar abu terbang batubara maksimum, didapatkan penambahan abu terbang batubara sebesar 5,0%. Nilai parameter karakteristik Marshall pada penambahan abu terbang batubara maksimum menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1073,04 kg, nilai VIM sebesar 3,68 %, nilai VFB sebesar 81,72 %, nilai hasil bagi Marshall sebesar 398,72kg/mm dan nilai Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) sebesar 19,60%. Penggunaan abu terbang batubara sebagai tambahan *filler* dapat mempengaruhi parameter karakteristik Marshall, nilai stabilitas naik sebesar 27,32% dari nilai stabilitas campuran tanpa menggunakan abu terbang batubara sebagai bahan tambah *Filler* yaitu mengalami kenaikan sebesar 230,29kg, rongga dalam campuran (VIM) mengalami penurunan sebesar

1,07%, rongga terisi aspal (VFB) mengalami kenaikan sebesar 5,72%, hasil bagi Marshall mengalami kenaikan sebesar 133,22kg/mm dan nilai Rongga Udara pada Mineral Agregat (VMA) mengalami penurunan sebesar 0,6%.

5.2 Saran

Sesuai hasil penelitian dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penelitian ini bisa dikembangkan kembali dengan menggunakan agregat dari lokasi yang berbeda khususnya di Kalimantan Tengah untuk meningkatkan potensi sumber daya alam yang ada.
2. Penelitian ini masih bisa diadakan untuk penelitian kembali dengan variasi Kadar aspal yang berbeda dan dengan penambahan abu terbang batubara yang berbeda.
3. Dalam penelitian selanjutnya disarankan agar penambahan *Filler* sebagai aggregate sebaiknya memperhitungkan juga berat total agregat termasuk didalamnya agregat yang ditambahkan, demikian pula terhadap berat KAO terhadap berat total campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*. Pemerintah Republik Indonesia
- Anonim. 2018. *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Devisi 6. Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia*.
- Achmad, Fadly. 2010. *Tinjauan Sifat-Sifat Agregat Untuk Campuran Aspal Panas (Studi Kasus Beberapa Quarry Di Gorontalo)*. Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Gorontalo. Vol 5 No1.
- Anas, Tahir, 2009. *Karakteristik Campuran Beton Aspal (ACWC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara*. Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu
- Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum. 2009. *Modul Pengendalian Mutu Pekerjaan Aspal dan Agregat*
- Departemen Pekerjaan Umum, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Modul – (1, 2, dan 3) *Pengambilan Contoh dan Pengujian Aspal untuk Perkerasan Campuran Beraspal*
- Desriantomy. 2007. *Penuntun Praktikum Bahan Perkerasan Jalan Raya*. Palangka Raya: Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
- Gunarti, Anita Setyowati, dkk. 2015. *Perbandingan Filler Pasir Laut Dengan Abu Batu Pada Campuran Panas Asphalt Trade Binder Untuk Perkerasan Lentur Dengan Lalu Lintas Tinggi*. Bekasi: Teknik Sipil Universitas Islam. Jurnal Bentang Vol.3 No.2
- Hasmiati & Arsyad, M.N. 2014. *Mix Design Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Dengan Menggunakan Fly Ash Batu Bara Sebagai Pengganti Filler*. Kendari: Fakultas Teknik Universitas Haluoleo. Jurnal Stabilita Vol. 2 No.1
- Indranata, Michael, dkk. 2015. *Pemanfaatan Bottom Ash Dan Fly Ash Tipe C Sebagai Bahan Pengganti Dalam Pembuatan Paving Block*. Teknik Sipil Univeritas Kristen Petra.

- Manoppo, Mecky R.E. 2011. *Pemanfaatan Tras Sebagai Filler Dalam Campuran Aspal Panas HRS-WC*. Manado: Fakultas Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol 1 No.2
- Sugeha 2018. *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Laston*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjung Pura.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova: Bandung.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Campuran Aspal Panas*. Granit: Jakarta.
- SNI 06-2489-1991. *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. Pustarn-Balitbang Pekerjaan Umum
- SNI 03-4142-996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No.200 (0,075 MM)*. Pustran-Balitbang Pekerjaan Umum
- SNI 03-1737-1989. *Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*. Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 2005
- Suyono, Rudi Sugiono, dkk. 2018. *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Laston*. Dosen Prodi Teknik Sipil UNTAN. Vol 5 No. 3
- Wardani, 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang.
- Wesli, dkk. 2016. *Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton AC-BC*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Teras Jurnal, Vol.6, No.2
- Zulfhazli. 2016. *Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc*. teknik sipil fakultas teknik universitas Malikussaleh.