

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN ARANG KAYU TUMBUK SEBAGAI
BAHAN PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC**

oleh

HENY PUTRI LARAS

NIM. DAB 116 025



JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

PALANGKA RAYA

2022

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN ARANG KAYU TUMBUK SEBAGAI BAHAN
PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC**

oleh


HENY PUTRI LARAS
NIM. DAB 116 025

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

Palangka Raya, November 2022

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


MURNIATI, S.T., M.T.
NIP. 19760111200501 2 002


Ir. DESRIANTOMY, M.T.
NIP. 19621223 199002 1 001

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


Dr. RUDI WALUYO S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

**PENGARUH PENAMBAHAN ARANG KAYU TUMBUK SEBAGAI BAHAN
PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC**

SKRIPSI

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

Oleh :




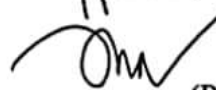
HENY PUTRI LARAS
NIM. DAB 116 025

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:

Hari/Tanggal : Senin, 14 November 2022
Waktu : 13.00 – 15.00 WIB
Tempat : Ruang Audiovisual (offline)


Tim Penguji :

- 1. MURNIATI, S.T., M.T.**
NIP. 19760111 200501 2 002
- 2. Ir. DESRIANTOMY, M.T.**
NIP. 19621223 199002 1 001
- 3. Ir. SUPIYAN, M.T.**
NIP. 19640220 199302 1 001
- 4. INA ELVINA, S.T., M.T.**
NIP. 19770816 200812 2 001


..... (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)

..... (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)

..... (Penguji 3)

..... (Penguji 4)

Mengetahui:

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


Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya
Dekan,


Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 19611119 199302 1 001



BIODATA MAHASISWA

Data Pribadi

Nama : Heny Putri Laras
NIM : DAB 116 025
Tempat, Tanggal Lahir : Palangka, 22 September 1998
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya : Jl. Pemandu Raya VII
No. Telp Rumah : -
Alamat Asal : Jl. Tingang Menteng, RT.008
Email : henyputralaras2@gmail.com
No.Hp : 082255637811
No.Wa : 082255637811
Facebook : -
Instagram : henylrs
Line : -
Nama Ayah : Jamisto
Pekerjaan Ayah : Wiraswasta
Alamat : Jl. Tingang Menteng, RT.008, Kab. Pulang Pisau
No.Hp : 085249275260
Nama Ibu : Erna Wati
Pekerjaan Ibu : Ibu Rumah Tangga
Alamat : Jl. Tingang Menteng, RT.008, Kab. Pulang Pisau
No.Hp : -
Wali : -



Riwayat Pendidikan*)

- SD : SD Negeri 4 Pulang Pisau (2004-2010)
- SLTP : SMP Negeri 1 Kahayan Hilir Pulang Pisau (2010-2013)
- SLTA : SMA Negeri 1 Kahayan Hilir Pulang Pisau (2013-2016)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan September tahun 2016

Palangka Raya, November 2022
Yang membuat pernyataan

HENY PUTRI LARAS
NIM. DAB 116 025

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji dan syukur kepada Allah S.W.T Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, pertolongan dan anugerah-Nya melalui orang – orang yang membimbing dan mendukung dengan berbagai cara sehingga penulis dapat menulis dan menyelesaikan skripsi ini.

ORANG TUA

Terima kasih saya ucapkan kepada ayah saya JAMISTO dan juga ibu saya ERNAWATI , atas segala hal dan perjuangan yang telah diberikan di dalam hidup saya , saya bersyukur kepada Allah telah memberikan kedua orang tua yang hebat di dalam hidup saya. Keduanya lah yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga saya bisa sampai pada tahap di mana skripsi ini akhirnya selesai. Terima kasih atas segala tetesan keringatmu, jerih payahmu, doa mu selalu menyertai langkahku. Dukungan kedua orang tua saya adalah kekuatan yang besar dalam menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini saya persembahkan buat kedua orang tua saya, semoga ini menjadi awal kedepannya untuk membuat kedua orang tua saya bangga dan bahagia.

KELUARGA

Terima kasih saya ucapkan kepada kaka-kaka saya yang telah banyak sekali membantu saya sehingga saya biasa menyelesaikan perkuliahan dan juga kepada keluarga saya untuk segala dukungan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

TEMAN-TEMAN TEKNIK SIPIL (ANGKATAN 2016)

Untuk teman-teman Teknik sipil Angkatan 2016 skripsi ini saya persembahkan untuk kalian, terima kasih banyak atas support, masukan, saran dan segala kebaikan yang telah kalian perbuat dalam kehidupan saya yang tidak akan pernah saya lupakan.

DOSEN TERHORMAT

Terimakasih kepada Bapak dan Ibu dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, atas segala pengajaran dan bimbingannya selama saya menjadi mahasiswa Teknik Sipil UPR. Terimakasih juga saya ucapkan kepada dosen pembimbing Skripsi Saya Ibu MURNIATI, S.T., M.T. dan Bapak Ir. DESRIANTOMY, M.T. dan dosen penguji Skripsi Saya Bapak Ir. SUPIYAN., M.T. dan Ibu INA ELVINA, S.T., M.T., yang telah membimbing Saya selama pengerjaan Skripsi ini hingga Saya dapat menyelesaikannya dan terimakasih untuk pengalaman-pengalaman yang telah di ajarkan kepada Saya.

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 konsekuensinya akibat ketidak benaran pernyataan saya.

Palangka Raya, 14 November 2022
Yang membuat pernyataan



Heny Putri Laras
NIM. DAB 116 025

RINGKASAN

PENGARUH PENAMBAHAN ARANG KAYU TUMBUK SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC, Heny Putri Laras, DAB 116 025, 2022, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada pelaksanaan perkerasan jalan di lapangan, pelaksana sering kali diperhadapkan dengan kendala jumlah *filler* pada agregat kasar (batu pecah) dan agregat halus (abu batu) yang kurang dari spesifikasi 6%-10%, dimana material pengisi yang sering digunakan untuk membuat beton aspal adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) seperti abu batu, abu batu kapur, portland cement (PC) atau bahan non-plastis lainnya yang tergolong cukup mahal. Pemanfaatan material limbah arang kayu tumbuk dapat menjadi solusi alternatif dalam mengatasi kurangnya jumlah *filler* pada perkerasan jalan dengan harga yang relatif lebih murah.

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan bahan tambah *filler* arang kayu tumbuk sebagai bahan pengisi dalam lapisan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*. Penelitian diawali dengan mencari nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik marshall dari campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* menggunakan agregat eks Palu, pasir eks Tangkiling, dan abu batu dengan variasi kadar aspal yang sudah ditentukan. Setelah KAO dan kadar *filler* pada percobaan pertama didapatkan, dilanjutkan dengan penelitian tahap kedua untuk menentukan persentase penambahan kadar *filler* arang kayu tumbuk maksimum yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* sehingga dapat diketahui karakteristik Marshall campuran dengan adanya penambahan *filler* arang kayu tumbuk maksimum.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,10% dengan *filler* 4,35% dari berat total agregat pada pengujian pertama. Dan pada pengujian kedua digunakan penambahan kadar *filler* arang kayu tumbuk 6%, 8%, dan 10% dengan KAO awal sehingga didapatkan kadar *filler* arang kayu tumbuk maksimum 8%. Adapun nilai parameter Marshall pada penambahan *filler* maksimum yang di peroleh yaitu nilai stabilitas mengalami kenaikan >600 kg/mm, *flow* sebesar (3,23%), VIM sebesar (3,03%), VMA (19,18%), VFB (84,21%), dan nilai hasil bagi marshall (Marshall Quotient) mengalami kenaikan sebesar 307,81 kg/mm.

Kata Kunci: HRS-WC, *Filler*, Arang Kayu Tumbuk, Karakteristik Marshall

SUMMARY

EFFECT OF ADDING WOOD CHARCOAL POWDER AS (FILLER) ON HRS-WC MIXTURE, Heny Putri Laras, DAB 116 025, 2022, *Civil Engineering Departement, Faculty Of Technique Palangka Raya University.*

In the implementation of road pavements in the field, implementers are often faced with the problem of the amount of filler material in the form of coarse aggregate (crushed stone) and fine aggregate (stone ash) which is less than the specification of 6%-10%, where the filler is often used to make asphalt concrete. are materials that pass filter No. 200 (0.075 mm) such as stone ash, lime ash, portland cement (PC) or other non-plastic materials which are quite expensive. Utilization of crushed wood charcoal waste material can be an alternative solution in overcoming the shortage of filler material on road pavements at relatively cheaper prices.

This study used a laboratory test method, namely to analyze the use of crushed wood charcoal filler as a filler in the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) layer. The research begins by finding the asphalt content (KAO) and the optimum marshall characteristics of the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) mixture using ex-Palu aggregate, ex Tangkiling sand, and rock ash with a predetermined variation of asphalt content. After obtaining the content of KAO and filler in the first experiment, it was continued with the second stage of research to determine the percentage addition of the maximum crushed wood charcoal filler content that can be used as a filler in the Hot Rolled Sheet-Wearing Course. (HRS-WC) so that the Marshall characteristics of the mixture can be known. with the addition of a maximum crushed wood charcoal filler.

Based on the research results obtained Optimum Asphalt Content (KAO) of 7.10% with a filler of 4.35% of the total weight of the aggregate in the first test. And in the second test, the addition of 6%, 8%, and 10% of mashed wood charcoal filler content was used with the initial KAO to get a maximum content of 8% mashed wood charcoal filler. Marshall parameter values for the maximum filler addition obtained are stability values increased >600 kg/mm, flow (3.23%), VIM (3.03%), VMA (19.18%), VFB (84.21%) , and the value of Marshall Quotient (Marshall Quotient) increased by 307.81 kg/mm.

Keywords: HRS-WC, Filler, Crushed Wood Charcoal, Marshall Characteristics

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat kasih dan karunia-Nya, sehingga penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini berjudul **“PENGARUH PENAMBAHAN ARANG KAYU TUMBUK SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN HRS-WC”** disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi Strata-1 Jurusan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya (UPR).

Pada kesempatan ini, diucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya 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 Dr. DEDDY NSP TANGGARA, 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.
7. Ibu Murniati, S.T.,M.T. selaku Ketua Penguji 1 Skripsi.
8. Bapak Ir. Desriantomy. M.T. selaku Sekretaris Penguji 2 Skripsi.
9. Bapak Ir. Supiyana, M.T. selaku Dosen Penguji 3 Skripsi.
10. Ibu Ina Elvina, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji 4 Skripsi.
11. Bapak Robby, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. 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 di masa yang akan datang. Terimakasih.

Palangka Raya, Oktober 2022

HENY PUTRI LARAS

NIM. DAB 116 025

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
RINGKASAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Lokasi Penelitian	7
1.7 Lokasi Pengambilan Material	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	12
2.1 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu	12
BAB III LANDASAN TEORI.....	21
3.1 Perkerasan Jalan.....	21
3.2 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>).....	23
3.3 Campuran Aspal Panas	26
3.4 Karakteristik Campuran Aspal Panas	27
3.5 Lapis Tipis Aspal Beton (<i>Hot Rolled Sheet</i>).....	30
3.6 Bahan Penyusun Campuran Perkerasan HRS-WC.....	31
3.6.1 Agregat	31
3.6.2 Sifat Agregat	34
3.6.3 Aspal	36
3.7 Arang	39
3.7.1 Serbuk Arang Kayu	40
3.7.2 Briket Arang	43

3.8	Proses Penyiapan Arang Kayu Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	44
3.9	Spesifikasi Campuran Lataston Lapis Aus (HRS-WC).....	45
3.10	Membuat Design <i>Mix Formula</i>	48
3.11	Metode Perencanaan Campuran Lataston Lapis Aus (HRS-WC)	48
3.12	Pengujian Campuran Metode <i>Marshall</i>	54
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	60
4.1	Umum	60
4.2	Waktu dan Tempat Pengujian.....	60
4.3	Langkah-langkah Penelitian	60
4.4	Pengambilan Data Sampel	61
4.5	Bahan Penelitian	62
4.6	Alat-alat Penelitian	63
	4.6.1 Alat untuk Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat	63
	4.6.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji	66
4.7	Waktu dan Tempat Pengujian.....	67
4.8	Pemecahan dan Pengayakan Agregat	67
4.9	Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat	68
	4.9.1 Pemeriksaan Gradasi Agregat.....	69
	4.9.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	70
	4.9.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar	73
	4.9.4 Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus.....	74
4.10	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	75
4.11	Pengujian Arang Kayu Tumbuk	76
	4.11.1 Pengujian Analisis Saringan <i>Filler</i>	76
4.12	Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat	78
4.13	Pembuatan Benda Uji	79
4.14	Pemeriksaan Benda Uji (<i>Tes Marshall</i>)	83
4.15	Bagan Alir Penelitian.....	86

BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	87
5.1	Pemeriksaan Agregat.....	87
5.1.1	Pemeriksaan Gradasi Agregat.....	87
5.1.2	Perencanaan Campuran.....	88
5.2	Pengujian Marshall.....	94
5.2.2	Perhitungan Pengisian Tabel Pengujian Marshall.....	94
5.3	Analisis Hasil Pengujian Marshall Dengan Variasi Kadar Aspal Tanpa Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	98
5.3.1	Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	99
5.3.2	Hubungan Rongga Antar Agregat (VMA) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	100
5.3.3	Hubungan Kelelehan (<i>Flow</i>) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	101
5.3.4	Hubungan Rongga Udara Dalam Campuran (<i>Void In Mixture/VIM</i>) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	102
5.3.5	Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled With Bitumen/VFB</i>) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	104
5.3.6	Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) Terhadap Kadar Aspal.....	105
5.4	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	106
5.5	Penambahan Arang Kayu Tumbuk Pada Agregat Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	108
5.6	Analisis Hasil Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Dengan Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	109
5.6.1	Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi.....	111
5.6.2	Hubungan Rongga Antar Agregat (VMA) Terhadap Variasi Filler Penambahan Arang Kayu Tumbuk.....	112
5.6.3	Hubungan Kelelehan (<i>Flow</i>) Terhadap Variasi Penambahan Filler Arang Kayu Tumbuk.....	113
5.6.4	Hubungan Rongga Udara Dalam Campuran (<i>Void In Mix/VIM</i>) Terhadap Variasi Penambahan Kadar <i>Filler</i> Arang Kayu Tumbuk.....	114
5.6.5	Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled With Bitumen/VFB</i>) Terhadap Variasi Penambahan Filler Arang Kayu Tumbuk.....	115

5.6.6 Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) Terhadap Variasi Penambahan Filler Arang Kayu Tumbuk.....	116
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	120
6.1 Kesimpulan.....	120
6.2 Saran.....	125
DAFTAR PUSTAKA.....	126
LAMPIRAN.....	128

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1	Ketentuan Agregat Kasar 32
3.2	Ketentuan Agregat Halus 33
3.3	Ketentuan-ketentuan Untuk Aspal Keras Pen 60/70..... 39
3.4	Kandungan yang Terdapat pada Abu Serbuk Kayu 41
3.5	Penelitian Serbuk Kayu yang Pernah Dilakukan Sebelumnya..... 42
3.6	Spesifikasi Gradasi Agregat untk HRS-WC 45
3.7	Persyaratan Sifat-sifat Campuran Lataston 47
4.1	Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum 81
4.2	Pembuatan Benda Uji Dengan Bahan Tambah Arang Kayu Tumbuk..... 83
5.1	Hasil Analisa Saringan Masing-Masing Agregat..... 87-88
5.2	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-Masing Agregat..... 88
5.3	Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal..... 89
5.4	Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i> 90
5.5	Rencana Komposisi Campuran Tanpa Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai <i>Filler</i> 93
5.6	Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Terhadap Total Agregat... 95
5.7	Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall Tanpa Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi..... 99
5.8	Nilai Parameter Karakteristik Marshall Pada Kadar Aspal Optimum Tanpa Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 107
5.9	Penambahan Arang Kayu Tumbuk Pada Agregat Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 108
5.10	Rencana Komposisi Campuran Dengan Variasi Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 109
5.11	Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall Dengan Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 110
5.12	Nilai Parameter Karakteristik Marshall Pada Kadar Penambahan Filler Arang Kayu Tumbuk Maksimum..... 118
5.13	Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran Tanpa Penambahan Arang Kayu Tumbuk dan Dengan Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... 120

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1	Lokasi Penelitian 7
1.2	Sketsa Lokasi Pengambilan Pasir Ex.Tangkiling..... 8
1.3	Sketsa Lokasi Pengambilan Agregat Kasar Ex.Palu 9
1.4	Sketsa Lokasi Pengambilan Kayu.....10
1.5	Sketsa Lokasi Pembakaran Kayu Menjadi Arang.....11
3.1	Struktur Perkerasan Lentur.....22
3.2	Lapis Perkerasan Kaku.....22
3.3	Lapis Perkerasan Komposit.....23
4.1	Bagan Alir Penelitian.....86
5.1	Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal.....89
5.2	Grafik Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i> 90
5.3	Grafik Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Kadar Aspal.....99
5.4	Grafik Hubungan VMA Terhadap Variasi Kadar Aspal.....101
5.5	Grafik Hubungan <i>Flow</i> Terhadap Variasi Kadar Aspal.....102
5.6	Grafik Hubungan Rongga Udara Dalam Campuran (<i>VIM</i>) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....103
5.7	Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....104
5.8	Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall Terhadap Variasi Kadar Aspal.....105
5.9	Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall Terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO).....106
5.10	Grafik Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi <i>Filler</i> Penambahan Arang Kayu Tumbuk.....111
5.11	Grafik Hubungan VMA Terhadap Variasi <i>Filler</i> Penambahan Arang Kayu Tumbuk.....112
5.12	Grafik Hubungan <i>Flow</i> Terhadap Variasi Kadar <i>Filler</i> Penambahan Arang Kayu Tumbuk.....113
5.13	Grafik Hubungan VIM Terhadap Variasi Penambahan <i>Filler</i> Arang Kayu Tumbuk.....114
5.14	Grafik Hubungan VFB Terhadap Variasi Penambahan <i>Filler</i> Arang Kayu Tumbuk.....115
5.15	Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall Terhadap Variasi Penambahan <i>Filler</i> Arang Kayu Tumbuk.....116
5.16	Grafik Nilai Parameter Marshall Terhadap Penambahan <i>Filler</i> Sebagai Bahan Pengisi.....117

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagiannya, termasuk bangunan pelengkap. Jalan raya merupakan jalan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan lain. Jalan raya dengan perkerasan aspal merupakan sebagian besar prasarana transportasi di Indonesia. Kebutuhan prasarana jalan yang baik merupakan faktor penunjang lancarnya perekonomian, pertumbuhan ekonomi yang semakin berkembang merupakan faktor pendorong bagi suatu daerah.

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 perkerasan 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.

Material pengisi yang sering digunakan untuk membuat beton aspal adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Macam bahan pengisi (*filler*) yang dapat digunakan ialah: abu batu, abu batu kapur, portland cement (PC), atau bahan non-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.

Limbah menimbulkan permasalahan serius khususnya di Indonesia. Limbah merupakan material sisa atau material yang sudah tidak terpakai lagi yang berasal dari suatu proses produksi baik industri maupun rumah tangga, pabrik besar dan lain sebagainya yang dilakukan oleh manusia. Limbah yang tidak diolah dengan baik dapat menjadi salah satu faktor pencemaran lingkungan yang berdampak

buruk bagi lingkungan, untuk mengatasi limbah adalah dengan cara mendaur ulang limbah tersebut.

Pemanfaatan material limbah pada campuran perkerasan jalan dapat menjadi solusi alternatif dalam menanggulangi besarnya jumlah limbah yang ada. Limbah arang kayu yang dihasilkan dari pembakaran kayu akan berdampak pada peningkatan limbah padat. Jika tidak dimanfaatkan akan menjadi limbah yang mengganggu lingkungan, pada sisi lain pemanfaatan arang kayu masih sangat terbatas. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya baru untuk pemanfaatan limbah arang kayu. Salah satu alternatifnya yaitu dengan cara memanfaatkan potensi daerah setempat yaitu dengan menggunakan arang kayu tumbuk sebagai material filler untuk membuat campuran bahan perkerasan jalan. Misalnya pada campuran HRS-WC.

Arang kayu tumbuk berguna untuk mengisi rongga- rongga dalam campuran beraspal dan sifat saling mengunci antar butir dikarenakan arang kayu tumbuk memiliki ukuran butir yang sangat halus dan lolos saringan No. 200. Oleh karena itu pada penelitian ini dicoba menggunakan material arang kayu tumbuk sebagai alternatif pengganti atau mengurangi pemakaian dari Portland- semen yang dari segi ekonomis arang kayu tumbuk lebih murah serta banyak tersedia di beberapa tempat/lokasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan arang kayu tumbuk 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 organik atau yang berpotensi merusak lingkungan dengan peningkatan nilai gunanya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, maka permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah material yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dengan bahan tambah jenis arang kayu tumbuk memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga?
2. Bagaimana proporsi komposisi terbaik *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* yang dihasilkan tanpa penambahan arang kayu tumbuk?
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 arang kayu tumbuk?
4. Bagaimana nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dengan masing-masing variasi penambahan arang kayu tumbuk sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* ?
5. Berapa kadar arang kayu tumbuk maksimal sebagai bahan tambah *filler* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini:

1. Menguji sifat-sifat fisik material yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.
2. Menentukan 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. Menganalisis nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dengan masing-masing variasi penambahan arang kayu tumbuk sebagai bahan pengisi (filer) pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.
5. Menghitung kadar maksimal arang kayu tumbuk sebagai bahan tambah pengisi (*filler*) pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Arang kayu tumbuk yang digunakan adalah jenis arang kayu kelas II seperti kayu galam, meranti, akasia atau kayu bangkirai yang sudah menjadi limbah dengan variasi filler terhadap berat agregat yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO).
3. Sumber kayu pada penelitian ini didapatkan dari bekas pemotongan pohon pada pembukaan lahan di Jalan Tahai Jaya, Kawasan Food Estate Belanti

Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Dengan pembakaran yang dilakukan di lokasi pembuatan arang pada Jalan Tingang Menteng Rey II, Kabupaten Pulang Pisau.

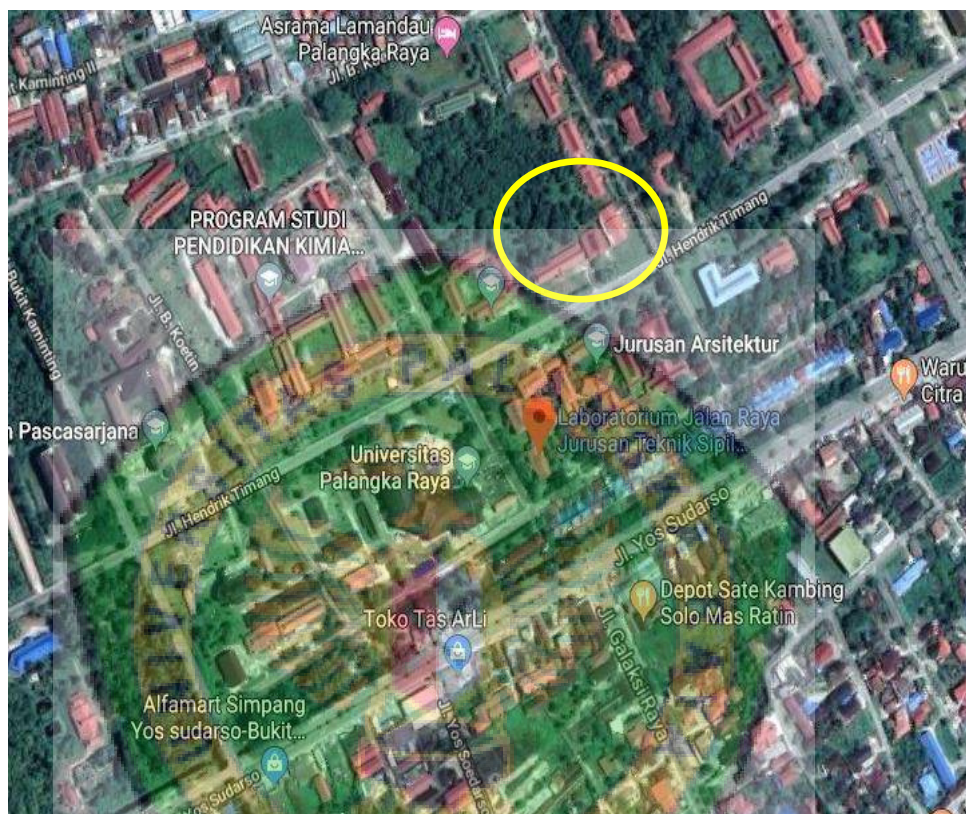
4. Penelitian tidak membahas reaksi arang kayu tumbuk terhadap campuran aspal.
5. Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70.
6. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode pengujian Marshall.
7. Analisa harga tidak diperhitungkan.
8. Spesifikasi campuran menggunakan Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum 2018 (Revisi 2).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kualitas agregat dari Palu serta agregat halus dari Tangkiling sebagai campuran agregat dalam campuran HRS-WC ditinjau terhadap sifat Marshall. Dan apakah dengan menggunakan arang kayu tumbuk sebagai bahan tambah pengisi (*filler*) mampu meningkatkan kualitas konstruksi lapis perkerasan. Sehingga diharapkan dapat direkomendasikan dalam peningkatan mutu perkerasan lentur jalan raya, dan juga sekaligus salah satu langkah penanganan untuk mengurangi sampah yang sulit terurai dengan peningkatan nilai fungsinya.

1.6 Lokasi Penelitian

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



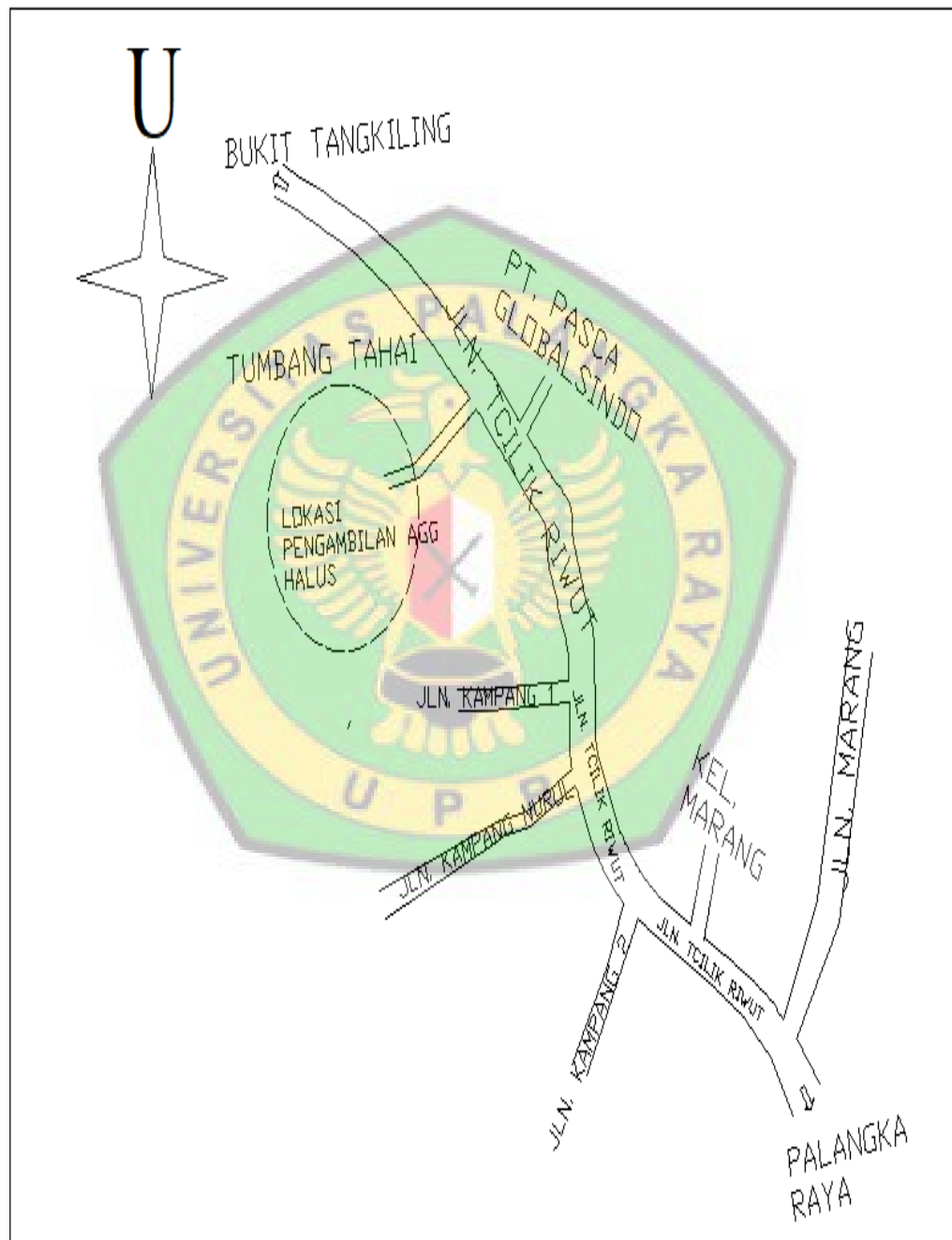
Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

Sumber : Google Maps, Tahun 2021

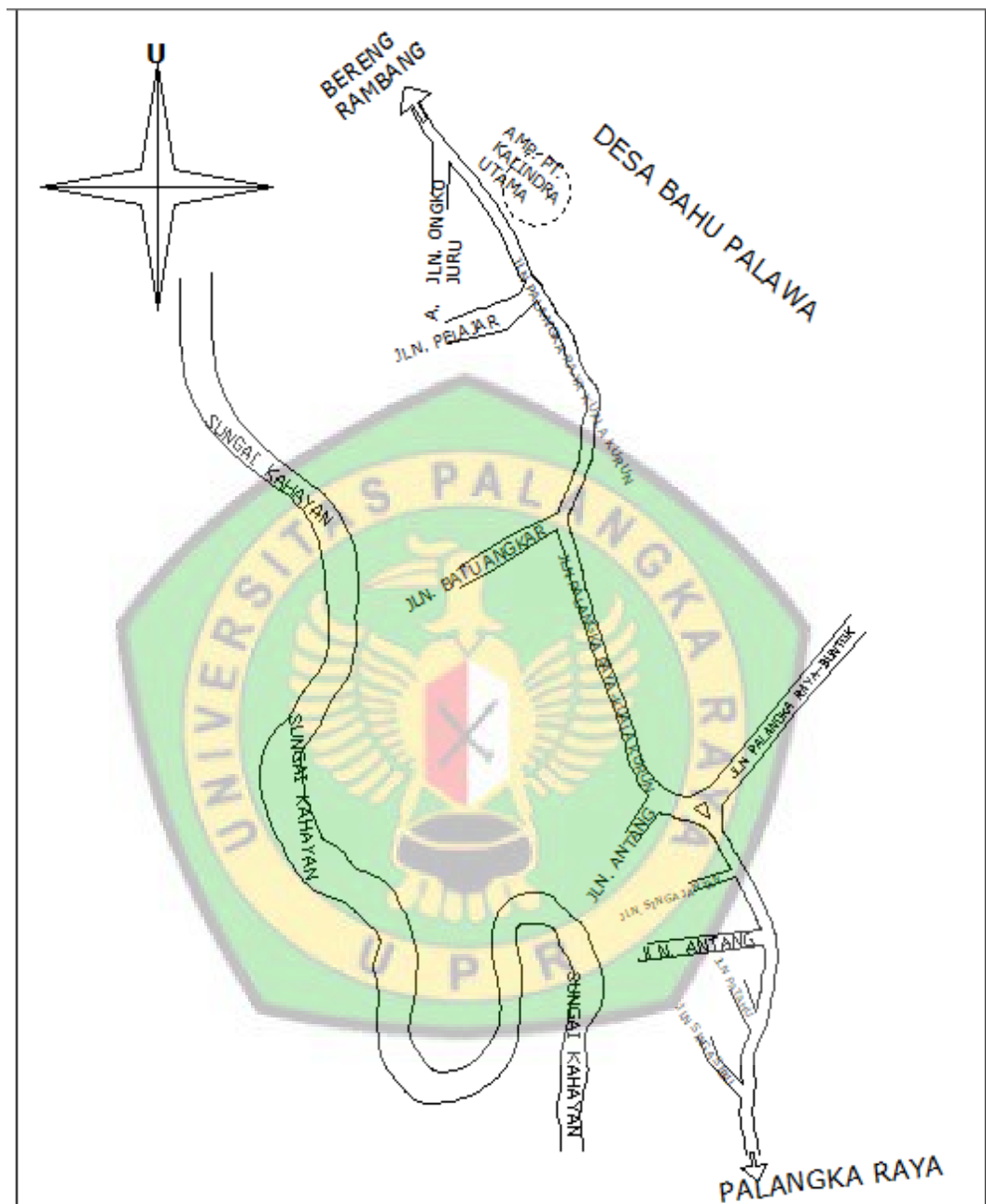
1.7 Lokasi Pengambilan Material

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 kayu didapatkan dari bekas pemotongan pohon pada

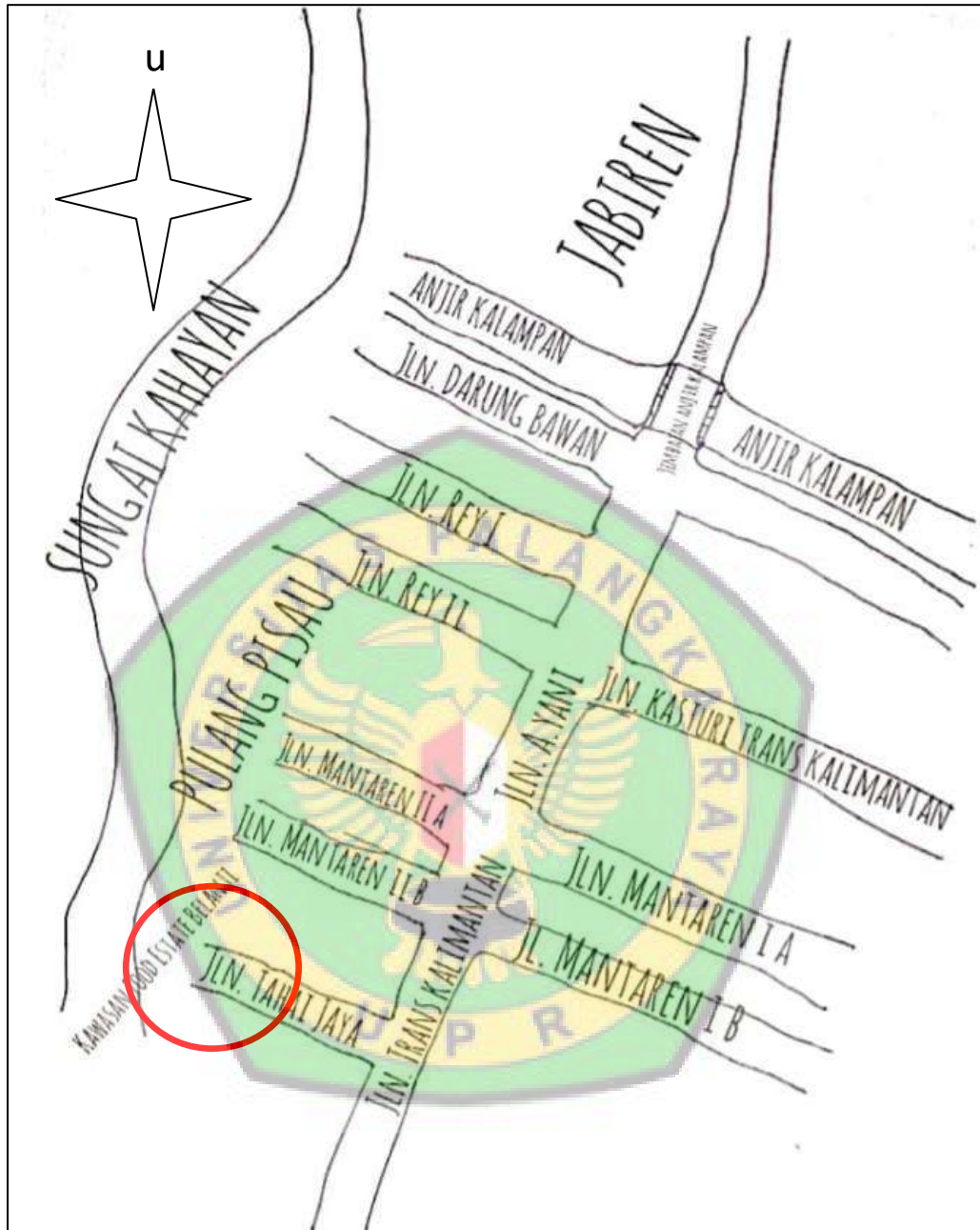
pembukaan lahan di Jalan Tahai Jaya, Kawasan Food Estate Belanti Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Dan pembakaran kayu dilakukan di lokasi pembuatan arang pada Jalan Tingang Menteng Rey II, Kabupaten Pulang Pisau.



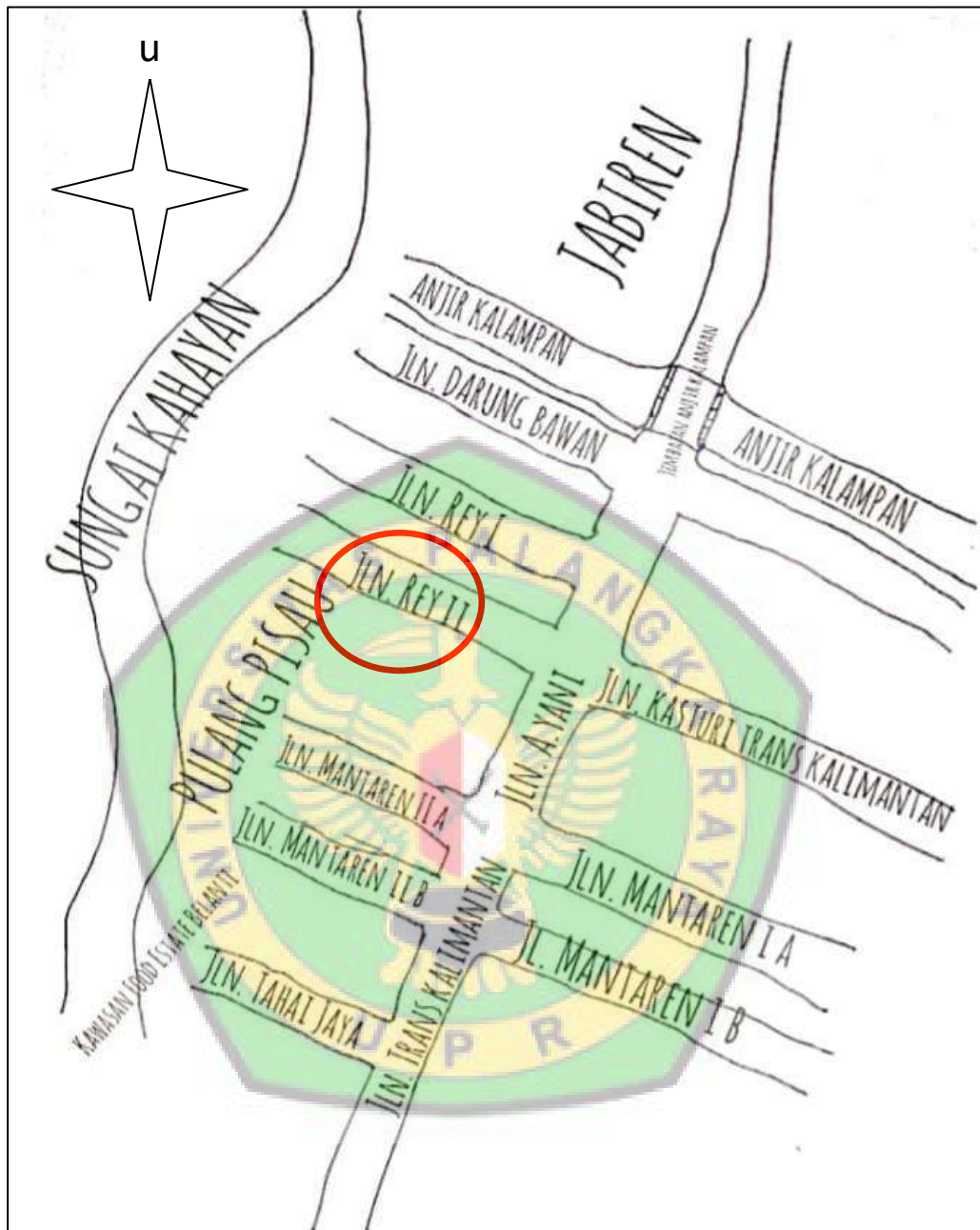
Gambar 1.2 Sketsa Lokasi Pengambilan Pasir Ex. Tangkiling



Gambar 1.3 Sketsa Lokasi Pengambilan Agregat Kasar EX. Palu



Gambar 1.4 Sketsa Lokasi Pengambilan Kayu



Gambar 1.5 Sketsa Lokasi Pembakaran Kayu Menjadi Arang

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu

Sebelum “Pengaruh Penambahan Arang Kayu Tumbuk sebagai Bahan Pengisi (Filler) pada Campuran HRS-WC” dilakukan, sebenarnya telah ada beberapa penelitian terdahulu yang cukup erat kaitannya dengan penelitian ini.

Woelandari (2021) dalam penelitian berjudul **“PENGARUH PENGGUNAAN ABU DAUN BAMBU SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN HRS-WC (*HOT ROLLED SHEET*)”**. Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap. Tahap yang pertama mencari studi literatur referensi tentang penelitian yang akan dilakukan, kemudian mempersiapkan alat dan bahan pada bahan perkerasan dan bahan *filler*. Hal yang dilakukan berikutnya yaitu melakukan pemeriksaan pada agregat dan pemeriksaan pada aspal, adapun pemeriksaan pada agregat yang dilakukan adalah berat jenis dan penyerapan, keausan agregat (abrasi), dan analisis saringan. Sedangkan pada pemeriksaan aspal yang dilakukan adalah pemeriksaan kehilangan berat aspal, berat jenis aspal, dan penetrasi aspal. Kemudian melakukan pembuatan komposisi pada campuran untuk *filler* abu daun bambu dengan variasi kadar 1- 3% . Jika pemeriksaan yang dilakukan sudah memenuhi spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) maka tahapan berikutnya yang dilakukan adalah pembuatan benda uji. Setelah tahapan pembuatan benda uji selesai dilakukan uji *marshall*. Untuk *filler* tambahan yang digunakan adalah daun bambu yang diperoleh dari

daerah Banjarsari Kota Serang-Banten. Jenis daun bambu yang digunakan adalah bambu apus dengan kisaran umur 2-3 tahun. Proses pembakaran daun bambu dilakukan pembakaran biasa dengan suhu yang tidak tinggi, kemudian hasil pembakaran dilakukan penyaringan, untuk bahan pengisi atau *filler* merupakan material yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm), minimum 75%. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa Abu daun bambu sebagai *filler* tambahan mempengaruhi nilai karakteristik *marshall* pada campuran HRS-WC. Hal ini terbukti pada persentase 1- 3% nilai karakteristik VMA dan VIM yang dihasilkan pada kadar aspal 7,5-8,0%. Nilai KAO yang dihasilkan pada penelitian ini terjadi pada ADB 0% dengan nilai 6,0 %, dengan nilai stabilitas sebesar 2257,67 Kg, nilai *flow* 6,03 mm, nilai VIM 5,45 % nilai VMA 20,24 %, nilai VFA 73,09 % dan *marshall quotient* sebesar 374,20 kg/mm. pada kasus ini pengambilan nilai KAO diambil pada nilai stabilitas tertinggi dengan karakteristik lain yang memenuhi persyaratan. dan ADB 2% dengan nilai 7,5 %, dengan nilai stabilitas sebesar 1941,67 Kg, nilai *flow* 4,23 mm, nilai VIM 5,10 % nilai VMA 22,57 %, nilai VFA 77,41 % dan *marshall quotient* sebesar 459,00 kg/mm. Hal ini membuktikan bahwa abu daun bambu (ADB) berpengaruh sebagai *filler* tambahan karena mampu menaikkan karakteristik *marshall* dan memenuhi spesifikasi.

Andy (2020) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul **“PEMANFAATAN ABU SERBUK HASIL PENGGERGAJIAN KAYU SEBAGAI TAMBAHAN FILLER PADA CAMPURAN PERKERASAN JALAN JENIS HRS-WC (HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE)”**. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium jalan raya jurusan/progam studi teknik sipil fakultas teknik

Universitas Palangka Raya. Material penyusun dalam campuran HRS-WC pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan spesifikasi, sedangkan abu serbuk kayu yang digunakan sebagai bahan tambahan filler telah memenuhi spesifikasi lolos saringan 200. Komposisi yang dihasilkan dalam perencanaan campuran HRS-WC terdiri dari 34% agregat kasar (batu pecah) dan 66% agregat halus (abu batu) dengan nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 7,65% dan variasi penambahan filler berupa abu serbuk kayu 1,5%, 3%, dan 4,5%. Kadar penambahan filler maksimum dalam campuran sebesar 1,8%. Dengan nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan tanpa tambahan filler adalah sebesar 1108,01 kg (Stabilitas), 4 mm (Flow), 4,45% (VIM), 80,15% (VFB), 275 Kg/mm (MQ), dan 2,36 gram/cm³ (Berat Isi).

Sementara itu nilai karakteristik Marshall pada tambahan filler maksimum 1,8% adalah sebesar 1175,45 Kg (Stabilitas), 4,20 mm (Flow), 4,29% (VIM), 84,29% (VFB), 279,98 Kg/mm (MQ), dan 2,39 gram/cm³ (Berat Isi). Penambahan filler maksimum memberikan pengaruh terhadap naiknya nilai stabilitas sebesar 67,44 kg dan memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai rongga dalam campuran (VIM) sebesar 0,16%.

Fakhtur (2020) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul **“PENGUNAAN FILLER ARANG KAYU PADA ASPAL HRS-WC DAN ASPAL AC-WC”**.

Metode pengujian mengikuti prosedur pengujian durabilitas. Tahapan penelitian diawali dengan pemeriksaan sifat-sifat agregat dan aspal. Abu Serbuk Kayu sebagai filler, serta bahan lain yang digunakan agregat kasar, agregat medium, aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Perencanaan campuran laston

lapis aus (HRS-WC) dengan menggunakan spesifikasi Bina Marga 2018 dengan menggunakan cara basah. Kadar Aspal Optimum campuran pada masing-masing aspal laston dan aspal lataston didapatkan hasil campuran aspal laston (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) = 5,3%, campuran aspal lataston (*Hot Rolled Sheet – Wearing Course*) nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) = 7,89%. Penambahan filler serbuk arang kayu pada campuran aspal menyebabkan nilai-nilai karakteristik pada campuran AC-WC menggunakan abu batu sebesar 1511,9 kg, sedangkan jika menggunakan arang kayu menurun menjadi 1049,6 kg, *Marshall Quotient* (campuran dengan filler abu batu = 613,3 kg/mm; campuran arang kayu = 295,8 kg/mm), VMA (campuran filler abu batu = 15,05%; campuran arang kayu mengalami kenaikan = 20,38%), VIM (campuran filler abu batu = 3,6%; campuran dengan arang kayu terjadi kenaikan = 9,6%). Sedangkan pada campuran HRS-WC nilai stabilitas menggunakan filler abu batu = 1899,17 kg; campuran arang kayu mengalami penurunan = 941,6 kg. Demikian juga yang terjadi pada *Marshall Quotient* (campuran filler abu batu = 472,9 kg/mm; campuran arang kayu = 377 kg/mm), VMA (campuran filler abu batu = 21,01%; campuran arang kayu = 22,41%), VIM (campuran filler abu batu = 5,6%; campuran dengan arang kayu terjadi kenaikan = 7,2%).

Putra (2019) dalam penelitian berjudul **“STUDI EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN SERBUK ARANG KAYU DENGAN KADAR 10% TERHADAP FILLER SEMEN PADA CAMPURAN PERKERASAN AC-WC”**. Pada percobaan ini peneliti menggunakan benda uji standar berupa sebuah cetakan yang berdiameter 101,6 mm (4 inci) dan tinggi 75 mm (3 inci). Benda uji

didapatkan dengan menggunakan alat pemadat Marshall (Marshall Compaction Hummer) dengan berat 4,54 kg (10 lbs), diameter 3. 7/8 inci dan tinggi jatuh 457 mm (18 inci). Hasil uji akan menunjukkan karakteristik Marshall dan karakteristik akan dipengaruhi oleh sifat-sifat campuran yaitu: Kepadatan, Rongga mineral diantara Agregat (VMA), Rongga terisi aspal (VFA), Rongga udara dalam campuran (VIM), Nilai stabilitas dan Pelelehan. Komposisi dan penentuan proporsi agregat dibuat dari data-data hasil analisis butiran masing-masing agregat yang tertahan di masing-masing saringan. Jenis campuran yang digunakan adalah gradasi kasar yang sesuai dengan peruntukan campuran AC-WC berdasarkan Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010. Pada penelitian ini, bahwa jumlah sampel yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal ideal sebanyak 9 buah dengan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%. Sampel benda uji dibuat dengan metode Marshall. Dalam penelitian ini, dapat dilihat pengaruh dalam penggunaan variasi serbuk arang kayu 10% sebagai bahan tambah campuran perkerasan AC-WC adalah dengan penambahan kadar serbuk arang kayu 10% terhadap filler semen dapat meningkatkan nilai Marshall Test. Dari data *Marshall Test*. Didapatkan data berdasarkan analisis kadar filler serbuk arang kayu sebesar 10% diperoleh nilai stabilitas sebesar 1354 kg, nilai flow sebesar 3,17 mm, *Marshall Quetiont* sebesar 427,50 kg/mm, VIM sebesar 4.34%, VMA sebesar 17.81 %, *Void filled* sebesar 70,18 %.

Sartika (2019) dalam penelitian berjudul **“PENGARUH ARANG CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI PENGGANTI FILLER ASPAL PENETRASI 60/70”**. Pembuatan benda uji yang dibuat dalam penelitian ini

terdiri 15 benda uji dan setiap benda uji diberikan kadar aspal; 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%. Sedangkan benda uji aspal dengan arang cangkang sawit kadar aspal yang berbeda-beda dari 3,5% ; 4% ; 4,5% . dari hasil pembacaan langsung pada alat Marshall test dengan kadar arang 3,5% (1375,6), 4% (1566,6), 4,5% (1138,9) diperoleh nilai lebih besar dari batas spesifikasi > 800 kg/mm. Hal ini menunjukkan nilai stabilitas terlalu tinggi yang akan menghasilkan perkerasan terlalu kaku sehingga keawetannya berkurang. Sementara nilai *flow* aspal dengan arang cangkang kelapa sawit hasilnya tidak memenuhi batas spesifikasi > 2,0 -4,0 mm, hal ini disebabkan karena kadar filler yang digunakan terlalu tinggi yang berakibat hasil nilai *flow* menjadi kecil, sehingga campuran yang memiliki kelelahan (*flow*) yang rendah akan lebih kaku dan cenderung mengalami retak dini pada usia pelayanannya. Nilai VIM menunjukkan hasil menjadi kecil dengan penambahan arang cangkang kelapa sawit dengan sampel 3,5%, 4%, 4,5% dimana nilai kurang dari 1 % sehingga tidak memenuhi spesifikasi dengan rentang nilai > 3,0 – 5,0 %. Semakin berkurang atau nilai VIM menjadi kecil maka rongga udara dalam campuran yang terlalu kecil dapat menimbulkan *bleeding*. *Bleeding* disebabkan oleh penurunan kadar aspal. Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan makin kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas.

Sedangkan hasil nilai VFB untuk kadar aspal dan arang 3,5% didapat 34,541, kadar 4% (38,834), kadar 4,5% (40,193) lebih rendah dibandingkan dengan hasil aspal konvensional sebesar 76,304. Hasil pemeriksaan menunjukkan pengaruh kadar aspal ditambah arang mengakibatkan nilai VMA mengalami kenaikan dari

Aspal konvensional. Hal ini disebabkan rongga dalam campuran lebih kecil, menyebabkan kerapatan campuran meningkat, yang berpengaruh pada daya ikat agregat dengan aspal lebih baik, kondisi ini menunjukkan bahwa hasil nilai VMA memenuhi di atas batas spesifikasi campuran yaitu 15%.

Cahya (2018) dalam penelitian berjudul **“KARAKTERISTIK PENGGUNAAN ABU SERBUK KAYU SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN LASTON LAPIS AUS”**. Metode pengujian pada penelitian ini mengikuti prosedur pengujian marshall, AASHTO, Bina Marga dan metode pengujian durabilitas modifikasi. Tahapan penelitian diawali dengan pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal setelah disubstitusi Abu Serbuk Kayu sebagai *filler*, serta bahan yang digunakan Agregat kasar, Agregat halus, Aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Perencanaan campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 (2014) dengan menggunakan cara basah. Nilai stabilitas campuran laston AC-WC menggunakan aspal Pen. 60/70 dengan substitusi *filler* abu serbuk kayu dengan semen *portland* pada KAO 5,31% menunjukkan campuran yang menggunakan substitusi *filler* 0% abu serbuk kayu – 100% semen *Portland* yaitu sebesar 1300,38 kg, stabilitas terendah pada campuran yang menggunakan substitusi *filler* 75% abu serbuk kayu – 25% semen *portland*, yaitu sebesar 1056,09 kg. Sedangkan campuran 50% abu serbuk kayu – 50% semen *Portland* mempunyai stabilitas sebesar 1167,42 kg dan untuk campuran 25% abu serbuk kayu – 75% semen *Portland* mempunyai stabilitas sebesar 1225,45 kg. Semua substitusi *filler* abu serbuk kayu dengan semen *Portland* nilai stabilitas memenuhi persyaratan, yaitu ≥ 800 kg.

Penggantian semen *Portland* dengan abu serbuk kayu dapat mengakibatkan menurunnya stabilitas pada suatu campuran aspal. Namun dalam kondisi di campur dengan 25% abu serbuk kayu - 75% semen *Portland* bisa menyebabkan stabilitas yang ada mendekati stabilitas campuran yang menggunakan 0% abu serbuk kayu – 100% semen *Portland*. Nilai durabilitas dari campuran AC-WC dengan substitusi abu serbuk kayu dan semen *portland* telah memenuhi persyaratan. Nilai durabilitas yang besar pada campuran aspal ini disebabkan karena *filler* kombinasi abu serbuk kayu dan semen portland yang digunakan dapat mengisi rongga-rongga yang terdapat di dalam campuran dengan baik, terlihat dari nilai VIM campuran yang cenderung kecil.

Yuslinggam (2018) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul **“PENGARUH PENGGUNAAN ABU SERBUK KAYU SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN LASTON LAPIS AUS (AC-WC)”**. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium jalan raya jurusan/program studi teknik sipil fakultas teknik universitas Syiah Kuala, Tujuannya dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran AC-WC dengan menggunakan abu serbuk kayu dan semen portland sebagai filler. Metode penelitian menggunakan perencanaan campuran AC-WC dengan spesifikasi umum Bina Marga 2010 revisi 3 (2014). Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis material berupa agregat, aspal pen. 60/70 dan aspal pen. 60/70 setelah disubstitusi variasi filler abu serbuk kayu dan semen portland telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan serta dapat digunakan sebagai bahan campuran AC-WC. Nilai – nilai karakteristik Marshall untuk semua variasi filler (75% abu serbuk kayu – 25% semen Portland, 50% abu serbuk kayu – 50% semen

Portland, 25% abu serbuk kayu – 75% semen Portland dan 0% abu serbuk kayu – 100% semen Portland) pada kadar aspal optimum telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai KAO terbaik di peroleh pada variasi filler 0% abu serbuk kayu – 100% semen Portland, dengan nilai KAO sebesar 5,31%. Penambahan filler abu serbuk kayu dapat menurunkan nilai density suatu campuran perkerasan. Penambahan variasi filler abu serbuk kayu dan semen Portland terjadi perubahan nilai-nilai yang sangat signifikan baik itu peningkatan maupun penurunan. Nilai durabilitas semua variasi filler abu serbuk kayu dan semen Portland telah memenuhi persyaratan yaitu lebih besar dari 90%, nilai durabilitas tertinggi di peroleh pada variasi filler 75% abu serbuk kayu – 25% semen Portland yaitu sebesar 94,29%, untuk filler 50% abu serbuk kayu – 50% semen Portland sebesar 93,12%, untuk filler 25% abu serbuk kayu – 75% semen Portland sebesar 91,61% dan untuk 0% abu serbuk kayu – 100% semen Portland sebesar 90,89%.



BAB III

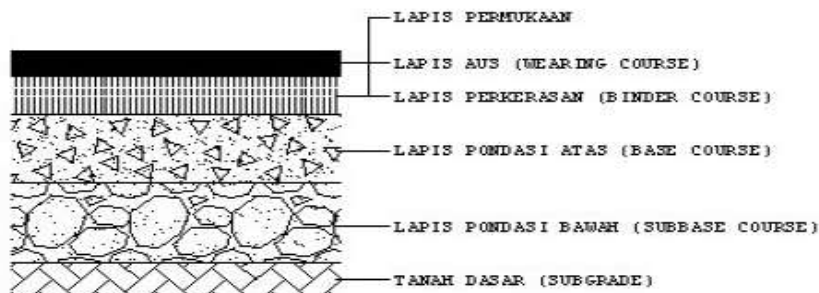
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasaan Jalan

Perkerasaan jalan termasuk bagian dari struktural jalan yang terletak pada penampang melintang jalan. Perkerasaan jalan memiliki kedudukan yang paling utama pada badan jalan dikarenakan perkerasaan jalan bersentuhan langsung dengan kendaraan. Agar perkerasaan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasaan jalan sangat diperlukan, (Sukirman 2003).

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

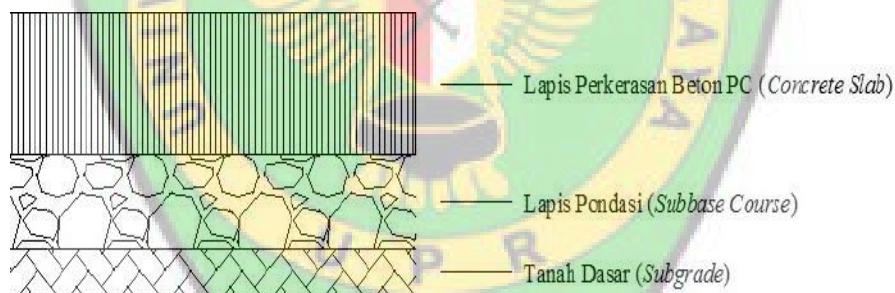
1. Konstruksi perkerasaan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasaan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Struktur perkerasaan jalan lentur dibuat secara berlapis dan terdiri atas lapisan permukaan (*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 3.1 Struktur Perkerasan Lentur

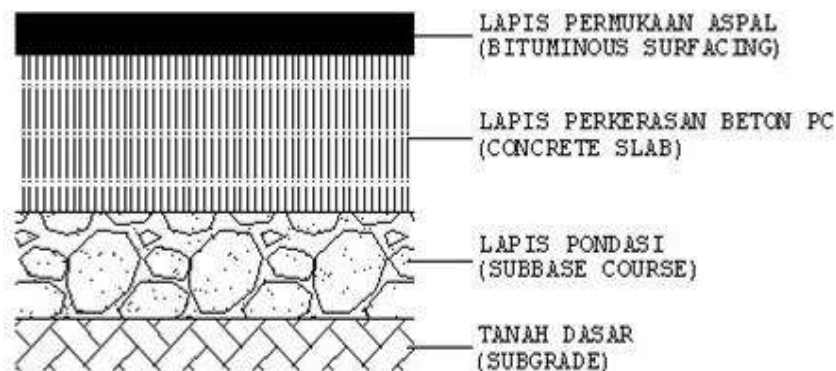
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan menggunakan semen (Portland cement) sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.



Sumber : (Sukirman, 1999)

Gambar 3.2 Lapis Perkerasan Kaku

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



Sumber : (Sukirman, 1999)

Gambar 3.3 Lapis Perkerasan Komposit

3.2 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Menurut Sukirman (2003), lapisan permukaan adalah bagian perkerasan yang terletak pada bagian paling atas dari struktur perkerasan lentur dan memiliki fungsi antara lain:

1. Sebagai bagian dari perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban-beban roda kendaraan yang melintas di atasnya.
2. Sebagai lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. Sebagai lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan.
4. Sebagai lapisan yang menyebarkan beban kebagian bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan yang mempunyai daya dukung lebih 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.

3.3 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*)

Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) yang disebut juga HRS, terdiri dari dua jenis campuran yaitu HRS pondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapis Aus (*HRS-WC*) 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 laston (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.

3.4 Karakteristik Campuran Aspal Panas

Campuran Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan.

Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan hotmix (Sukirman, 2003).

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*. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi begitu juga sebaliknya. 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 perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan 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 perkerasaan 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 perkerasan 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.

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

Lapis tipis aspal beton (*lataston*) adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, bahan tambah (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm (Sukirman, 2003).

Pembuatan lapis tipis aspal beton (*lataston*) bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapisan antar pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya. Hot Rolled Sheet (HRS)

bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran HRS dengan gradasi senjang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak (7-8%) tanpa terjadi kelebihan aspal (bleeding). Selain itu, HRS juga mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedapapan terhadap air dan udara tinggi (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

3.6 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.

3.6.1 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM (1974) mendefinisikan agregat 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% agregat berdasarkan persentase volume. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal (Sukirman, 2003).

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2018), agregat dibagi menjadi 3 jenis dalam perkerasan jalan berdasarkan ukuran butirannya yaitu :

a. Agregat kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan. Fungsi agregat kasar pada aspal panas jenis *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah memberikan kepadatan untuk campuran.

Tabel 3.1 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	SNI 2417:2008	Maks.6%	
			100 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 Perbandingan 1:5	Maks 5%	
	Lainya		Maks 10%	
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117 : 2012	Maks 1%	

Sumber: Spesifikasi Umum Devisi 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 memperkokoh 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 3.2 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 atau *Filler*

Bahan pengisi atau *Filler* adalah salah satu bahan yang memiliki fungsi penting, yaitu sebagai pengisi rongga-rongga dari campuran aspal. Selain itu filler juga memiliki fungsi lain yaitu sebagai media untuk pelumasan aspal terhadap permukaan agregat. 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 kapur, semen, fly ash, serbuk batu bata, serbuk genting, lanau, dan lain-lain. Adapun bahan yang sering digunakan dalam penelitian menggunakan bahan *Filler* seperti semen, fly

ash. Sementara, menurut pramono (1999) kapur bila digunakan sebagai bahan filler akan membutuhkan jumlah aspal yang tidak sedikit supaya bisa menghasilkan nilai stabilitas yang tinggi.

Pemakaian bahan filler dengan berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis agregat kasar dan agregat halus dapat menyebabkan campuran menjadi kurang aspal, dengan ditandai nilai rongga pada campuran VIM lebih besar dari batas spesifikasi atas dan nilai rongga terisi aspal VFA lebih kecil dari batas spesifikasi bawah (Widodo,2000).

3.6.2 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.

3.6.3 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (flexible pavement) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air dan mudah dikerjakan (Shirley L. Hendarsin, 2000).

Aspal juga dapat diartikan sebagai 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 perkerasan, jika temperatur mulai menurun aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan 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 perkerasan 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 3.3.

Tabel 3.3 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 3.3

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.

3.7 Arang

Arang adalah suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Ketika pemanasan berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara di dalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang

mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Arang lebih baik dibandingkan dengan kayu bakar sebab nilai bakar dari arang serta densitas arang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kayu bakar (Ristianingsih dkk, 2015).

Arang merupakan salah satu jenis bahan bakar yang di buat dari aneka macam bahan hayati atau biomassa, misalnya kayu, ranting, daun-daunan, rumput, jerami, dan limbah pertanian lainnya yang dimusnahkan dengan cara dibakar.

Didapatkan bahwa temperatur suhu pada pemanasan berpengaruh terhadap pori-pori arang. Semakin tinggi temperatur karbonisasi maka pori-pori yang terbentuk dan jumlah karbon yang dihasilkan juga semakin baik, dimana banyaknya pori-pori dalam karbon tersebut memiliki kemampuan dalam menyerap (Zainal Abidin, 2011).

Permukaan arang yang semakin luas berdampak pada semakin tingginya daya serap terhadap bahan gas atau cairan (Krik dan Othmer, 1964).

3.7.1 Serbuk Arang Kayu

Serbuk arang kayu adalah salah satu jenis bahan limbah yang bersifat organik yang merupakan limbah yang terdapat pada lingkungan industri penggergajian kayu atau pengrajin *furniture* yang saat ini belum optimal pemanfaatannya (Boni dkk., 2019). Kandungan kimia kayu adalah selulosa, lignin dan zat lain (termasuk zat gula). Dinding sel tersusun sebagian besar oleh selulosa dimana dengan adanya penambahan selulosa pada campuran filler akan memberikan tambahan kekuatan ikat antar partikel akibat sifat adhesi. (Suprayogi dkk, 2018)

. Selulosa adalah suatu bahan yang tidak begitu asing lagi bagi manusia meskipun merupakan karbohidrat selulosa bukanlah sumber makanan bagi manusia. Lignin adalah suatu campuran zat – zat organik yang terdiri dari zat karbon, zat air atau hidrogen dan oksigen. Serbuk gergaji kayu mengandung komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat ekstraktif kayu (Purba dkk., 2017).

Tabel 3.4 Kandungan yang Terdapat Pada Serbuk Arang Kayu

Serbuk Arang Kayu dengan Pembakaran Alami	
Kandungan Kimia	Serbuk Arang Kayu (%)
Silikat (SiO_2) tidak larut	67,964
Silikat (SiO_2) larut	2,982
Total SiO_2	70,964
Alumina (Fe_2O)	0,004
Besi Oksida (Al_2O_3)	0,054

Sumber : Rasoni dkk., 2018

Tabel 3.5 Penelitian Serbuk Kayu yang Pernah Dilakukan Sebelumnya

No	Nama, Tahun	Bahan	Persentase	Kuat Tekan	Kuat Tarik	Umur
1	(Hariady dkk, 2016)	Abu Serbuk Kayu	0%	28.890	-	28
			5%	25.970	-	28
			10%	24.770	-	28
			15%	23.200	-	28
			20%	22.750	-	28
2	(Siswadi dkk., 2017)	Serbuk Kayu	0 kg/m ³	17.106	-	7
				22.217	-	14
				26.293	-	28
			0.5 kg/m ³	19.633	-	7
				23.205	-	14
				26.240	-	28
			1 kg/m ³	21.244	-	7
				23.894	-	14
				27.100	-	28
3	(Mulyati dkk., 2017)	Abu Ampas Tebu	0%	24.000	1.036	28
			5%	26.000	1.044	28
			10%	28.000	1.108	28
			15%	32.000	1.276	28
			20%	22.000	0.810	28
			25%	16.000	0.788	28
		Abu Serbuk Kayu	0%	24.000	1.040	28
			5%	28.000	1.084	28
			10%	32.000	1.192	28
			15%	20.000	1.036	28
			20%	18.000	0.800	28
			25%	16.000	0.752	28

Sumber : Rasoni dkk.,2018

Sifat kimia arang terdiri dari unsur C, H, O dan komponen non organis (mineral). Komposisi unsur tersebut didalam arang tergantung dari proses karbonisasi, suhu dan metode karbonisasi. Dibandingkan dengan kayu nilai kalor

arang menjadi lebih tinggi yaitu berkisar 6.760 – 7.860 kal/gr untuk kadar air 5-6% variasi nilai kalor banyak disebabkan oleh komposisi kimia dari kayu dan proses karbonisasi. Dibandingkan dengan kayu nilai kalor arang menjadi lebih tinggi yaitu berkisar 6.760 – 7.860 kal/gr untuk kadar air 5-6% variasi nilai kalor banyak disebabkan oleh komposisi kimia dari kayu dan proses karbonisasi. Kayu yang berat jenis tinggi umumnya menghasilkan arang dengan nilai kalor yang tinggi. Arang juga mempunyai kadar serap air 16% tergantung dari jenis larutannya. Sifat higroskopis menurun dengan meningkatnya suhu karbonisasi. Kadar kering udara arang berkisar antara 5-7% kadar air dipengaruhi oleh proses karbonisasi, yaitu jumlah udara, suhu maupun lamanya proses pengarangan. Tidak dipengaruhi oleh berat jenis bahan baku. Arang juga memiliki kadar abu yang terjadi dari pembakaran sempurna arang, kadar abu dipengaruhi proses karbonisasi terutama suhu maksimum dan lamanya pengarangan. Kadar abu bervariasi antara 1-4% tetapi kadang bisa lebih misalnya arang dari kulit kayu (Ahdiansyah,2013).

3.7.2 Briket Arang

Briket arang adalah arang yang diperoleh dengan membakar biomassa kering dengan sedikit udara (karbonisasi). Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari jasad hidup baik dari tumbuh-tumbuhan maupun hewan. Contoh biomassa adalah dedaunan, rerumputan, ranting, serta limbah pertanian dan peternakan (Johannes, 1991). Beberapa kelebihan briket arang dibandingkan dengan arang konvensional adalah: (Widarto dkk, 1995 dikutip oleh Arganda, 2007)

- a. Bentuk ukurannya seragam, karena briket arang dibuat dengan alat pencetak khusus bentuk besar kecilnya bisa diatur sesuai dengan yang dikehendaki
- b. Mempunyai panas pembakaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang biasa.
- c. Tidak berasap (jumlah asap kecil sekali) dibandingkan dengan arang biasa yang banyak mengandung asap tebal
- d. Tampak lebih menarik, karena bentuk dan ukurannya bisa dibuat sesuai dengan kehendak kita, disamping bentuk dan ukurannya menarik, pengemasannya juga mudah.

3.8 Proses Penyiapan Arang Kayu Sebagai Bahan Pengisi (*Filler*)

Sebelum digunakan sebagai bahan pengisi pada filler, kayu yang sudah diperoleh harus melewati beberapa tahapan. Salah satunya yaitu proses pembakaran dan proses penumbukan. Pada metode pembakaran, kayu yang sudah kering dimasukan kedalam wadah tertutup (seperti tungku, oven, atau drum) dengan temperatur udara pembakaran tertentu. Setelah kayu menjadi arang, barulah dilanjutkan dengan proses penumbukan. Pada metode penumbukan yang dilakukan pada arang bisa menggunakan cara manual, yaitu dengan memasukan arang kedalam suatu wadah tertutup (karung) yang kemudian ditutup menggunakan kain agar arang tidak menembus keluar, lalu dipukul hingga halus.

Arang kayu yang sudah ditumbuk harus lolos saringan no.200 (75 micron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya agar bisa dijadikan filler.

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga 2018).

3.9 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 3.6 berikut ini:

Tabel 3.6 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 laston 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.

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 3.7 di bawah ini:

Tabel 3.7 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.

3.10 Membuat Design Mix Formula

Kadar aspal total dalam campuran laston 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

3.11 Metode Perencanaan Campuran Laston 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 dan 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 (*provingring*) yang berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 pound proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur stabilitas campuran dan terdapat pula arloji lelehan (*flowmeter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

3.12 Pengujian Campuran Metode *Marshall*

Pengujian Marshall dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*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 inci. Nilai stabilitas dan nilai *flow* minimal sebesar 800 kg. Untuk aspal modifikasi nilai stabilitas dan nilai *flow* minimal sebesar 1000 kg (Direktorat Jenderal 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 dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak 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:

Pmm = Persen berat total campuran (100)

Ps = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

Pa = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Gse = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat.

Ga = Berat jenis aspal

5. Berat jenis bulk aspal beton padat (Gmb)

Berat jenis bulk dari aspal beton padat (Gmb) dapat diukur dengan menggunakan

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \quad (2.5)$$

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 (*Void 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:

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

VIM = Rongga udara dalam campuran padat (%).

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran (gr/cc).

G_{mb} = 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 kekakuan 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.

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

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

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

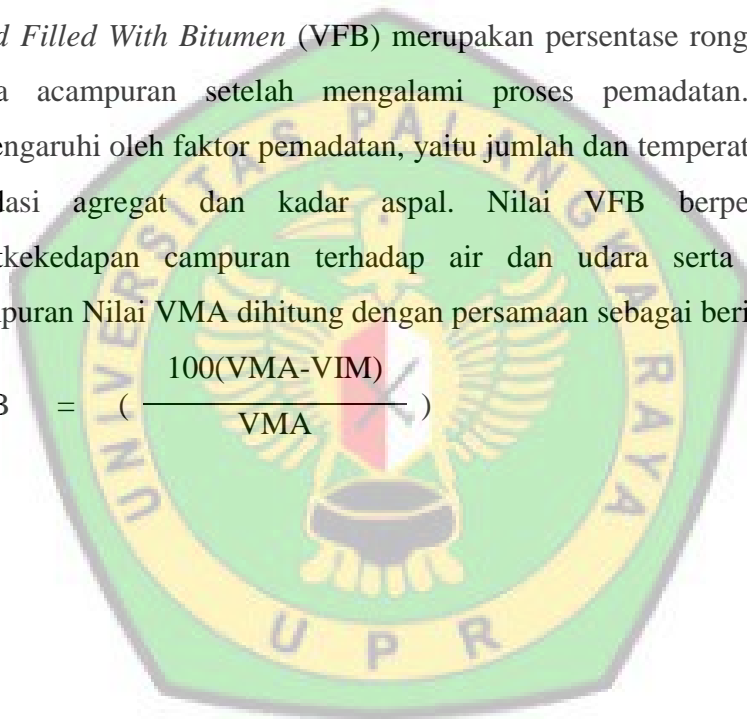
Keterangan:

- 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 sifatkekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastitas campuran Nilai VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan arang kayu tumbuk 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 Aus (*Hot Rolled Sheett-Wearing Course*) yang memenuhi spesifikasi. Data yang dihasilkan digunakan untuk perancangan campuran, yang selanjutnya dibuat benda uji untuk dilakukan uji *Marshall* sehingga diketahui karakteristik campuran yang diteliti.

4.2 Waktu dan Tempat Pengujian

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

4.3 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 arang kayu tumbuk sebagai bahan pengisi (*filler*). Setelah membuat sampel dan perhitungan karakteristik sampel campuran, maka akan didapatkan data yang nantinya dapat dianalisis dan ditarik kesimpulan.

4.4 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 9 buah briket/benda uji, yang terdiri dari 5 variasi persentase berat arang kayu

tumbuk terhadap berat agregat yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO). Tiap variasi persentase berat arang kayu tumbuk dibuat 3 buah briket/benda uji. Pembuatan dan pengujian briket/benda uji ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

4.5 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. Kayu sebagai bahan pengisi (*filler*) yang akan digunakan pada percobaan ke dua adalah jenis-jenis limbah kayu yang kebanyakan termasuk golongan kayu kelas II seperti kayu galam, meranti, akasia atau kayu bangkirai yang di dapatkan dari bekas pemotongan pohon pada pembukaan lahan di Jalan Tahai Jaya, Kawasan Food Estate Belanti Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Dengan pembakaran yang dilakukan di lokasi pembuatan arang pada Jalan Tingang Menteng Rey II, Kabupaten Pulang Pisau.

4.6 Alat-alat Penelitian

4.6.1 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 500ml, 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 $(110 - 5)^{\circ}\text{C}$.

4.6.2 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.

4.7 Waktu dan Tempat Pengujian

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

4.8 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. Arang kayu tumbuk digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada percobaan kedua setelah Kadar Aspal Optimal (KAO) pada percobaan pertama di dapat, dengan variasi penambahan filler terhadap berat agregat.

4.9 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat harus dilakukan pada suatu perencanaan campuran yang akan dipergunakan pada lapisan perkerasaan. Agregat dapat digunakan untuk bahan perkerasaan, 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.

4.9.1 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 pengguncang 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.

4.9.2 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:

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

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

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

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

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 :

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

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

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

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

4.9.3 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

4.9.4 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 200mm 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:

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

4.10 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*).

4.11 Pengujian Arang Kayu Tumbuk

Pengujian terhadap Arang Kayu Tumbuk adalah pengujian analisis saringan *filler* atau bahan yang lolos saringan No. 200.

4.11.1 Pengujian Analisis Saringan *Filler*.

Pengujian analisis saringan, Berat Jenis dan Penyerapan *Filler* terhadap arang kayu tumbuk 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 $(110 - 5)^{\circ}\text{C}$.

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

$$W3 = W1 - W2 \quad (3-12)$$

- 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).

4.12 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.

4.13 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 4.1 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 arang kayu tumbuk sebagai bahan tambah *filler* dengan variasi terhadap persentase berat total agregat. Sebelum digunakan sebagai bahan tambah *filler*, kayu yang digunakan haruslah melewati beberapa proses pembuatan. Dimulai dari pembakaran kayu dengan menggunakan tungku dilokasi yang sudah ditentukan. Pembakaran arang kayu dilakukan selama 3-4 jam dengan temperature suhu 1000-1200°C dalam posisi kayu saling rapat. Tungku kemudian ditutup menggunakan tanah liat dan bata merah selama ± 2 hari sampai kayu menjadi arang, penutupan dilakukan agar tidak terjadi kebocoran udara di dalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut tidak teroksidasi. Setelah kayu menjadi arang, barulah dilakukan proses penumbukan menggunakan karung yang sudah dilapisi kain. Arang kayu tumbuk yang digunakan 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), lalu 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/briquet tiap variasi persentase arang kayu tumbuk.

Tabel 4.2 Pembuatan Benda Uji Dengan Bahan Tambah Arang Kayu

Arang Kayu Tumbuk	Jumlah Benda Uji	Keterangan
%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + % Tambahan Arang Kayu Tumbuk
%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + % Tambahan Arang Kayu Tumbuk
%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + % Tambahan Arang Kayu Tumbuk
%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + % Tambahan Arang Kayu Tumbuk
%	3 buah	Campuran agregat sesuai komposisi + KAO + % Tambahan Arang Kayu Tumbuk
Jumlah		15 Buah

4.14 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

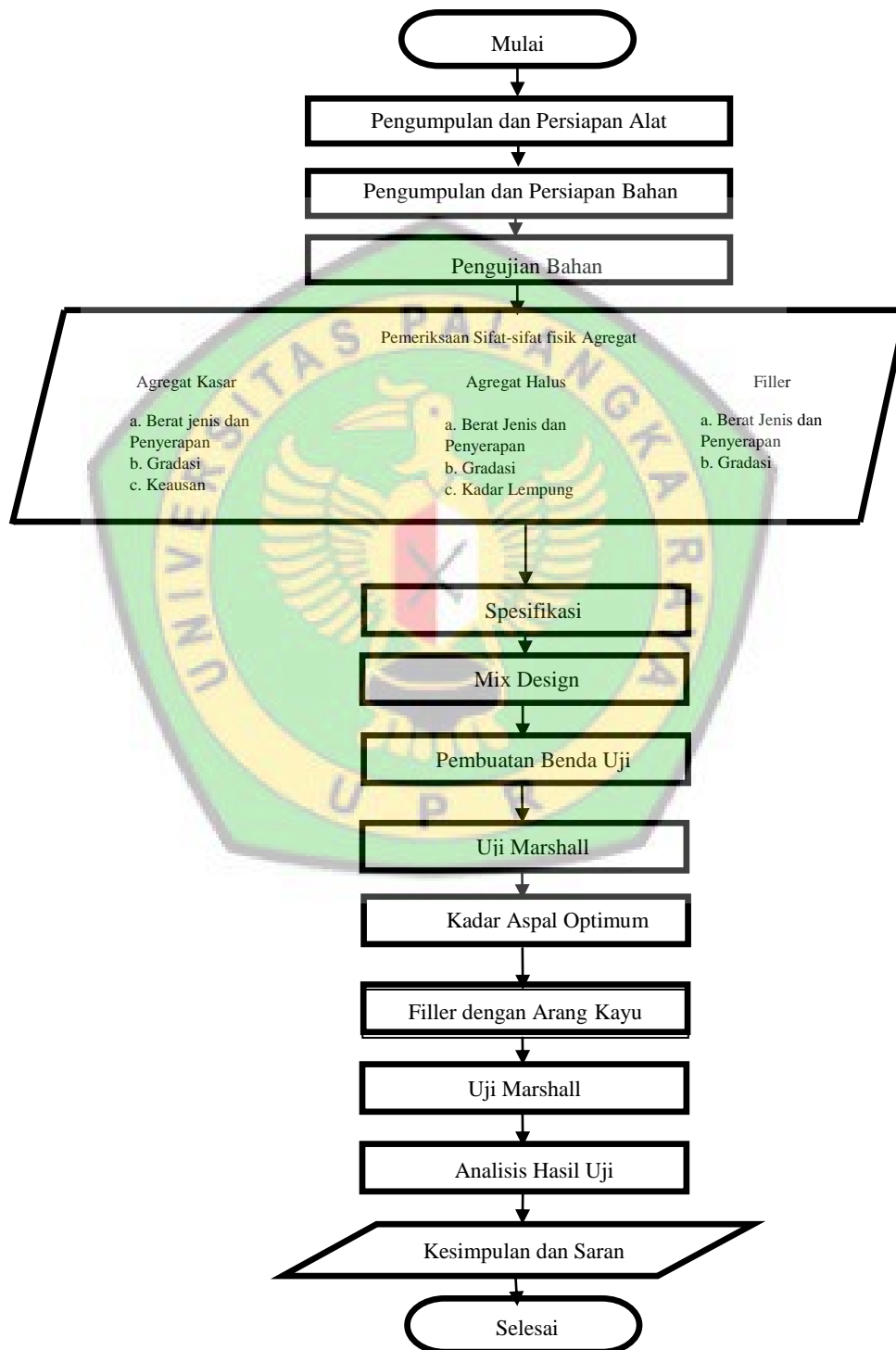
- 1) Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 30-40 menit.
- 2) Sebelum pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan diberi pelumas sehingga kepala penekan dapat meluncur bebas dan mempermudah pelepasan benda uji.
- 3) Keluarkan benda uji 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.



4.15 Bagan Alir Penelitian

Penelitian dilakukan secara bertahap sesuai dengan bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 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 Arang Kayu Tumbuk 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 lakukannya penambahan bahan pengisi (*filler*) yang dalam penelitian ini menggunakan arang kayu tumbuk.
3. Hasil Penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall tanpa penambahan bahan pengisi (*filler*) menggunakan komposisi campuran

terbaik dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 7,1% diperoleh nilai karakteristik parameter Marshall sebagai berikut :

- a. Nilai stabilitas pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai stabilitas sebesar 947,65 kg.
 - b. Nilai kelelahan (*flow*) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai kelelahan sebesar 3,20 mm.
 - c. Nilai rongga antar agregat (VMA) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai VMA sebesar 20,10%.
 - d. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai VIM sebesar 4,50 %.
 - e. Nilai rongga terisi aspal (VFB) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai VFB sebesar 78,10 %.
 - f. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) pada Kadar Aspal Optimum tanpa penambahan bahan pengisi (*Filler*) diperoleh nilai sebesar 295,50 kg/mm.
4. Hasil penelitian terhadap Parameter karakteristik Marshall menggunakan komposisi campuran yang sama dan kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 7,1 % dengan penambahan bahan pengisi menggunakan arang kayu tumbuk dengan variasi penambahan filler 6%, 8%, dan 10% dihasilkan nilai karakteristik parameter Marshall sebagai berikut :

- a. Nilai stabilitas untuk semua variasi kadar penambahan arang kayu tumbuk memenuhi nilai spesifikasi yang disyaratkan. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada 10% penambahan arang kayu tumbuk yaitu sebesar 1014,99 kg. nilai stabilitas yang dihasilkan meningkat seiring dengan semakin besarnya penambahan filler arang kayu tumbuk.
- b. Nilai kelelahan (*Flow*) untuk semua variasi kadar penambahan arang kayu tumbuk tidak semua memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai kelelahan (*Flow*) tertinggi terdapat pada penambahan arang kayu tumbuk 6% yaitu sebesar 3,37 mm dan mengalami penurunan nilai *flow* pada penambahan arang kayu tumbuk sebesar 8% dan 10%. Pada kadar penambahan arang kayu tumbuk sebesar 10% nilai *flow* tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu hanya 2,67 mm.
- c. Nilai rongga antar agregat (VMA) untuk semua variasi penambahan arang kayu tumbuk memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai VMA tertinggi terdapat pada penambahan arang kayu tumbuk 6% yaitu sebesar 19,55%. Nilai rongga antar agregat mengalami penurunan seiring bertambahnya arang kayu tumbuk yang digunakan.
- d. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) untuk variasi penambahan arang kayu tumbuk 6% dan 8% memenuhi spesifikasi yang di iijinkan yaitu 3-5.% Sedangkan pada variasi penambahan arang kayu tumbuk 10% nilai (VIM) hanya 2,25% dan tidak memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) yang dihasilkan

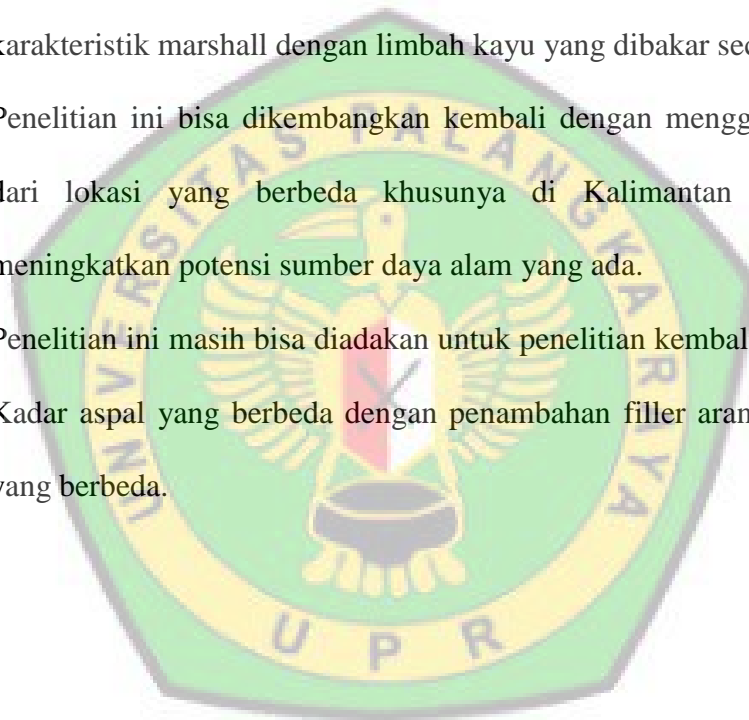
cenderung menurun seiring dengan semakin besarnya penambahan arang kayu tumbuk yang digunakan.

- e. Nilai rongga udara terisi aspal (VFB) untuk semua variasi penambahan arang kayu tumbuk memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai rongga terisi aspal (VFB) tertinggi terdapat pada penambahan arang kayu tumbuk 10% yaitu sebesar 87,85%. Nilai rongga terisi aspal mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya arang kayu tumbuk yang digunakan.
- f. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) untuk semua variasi penambahan arang kayu tumbuk memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terdapat pada penambahan arang kayu tumbuk 10% yaitu sebesar 381,91 kg/mm dan nilai terendah yaitu pada penambahan arang kayu tumbuk 6% dengan nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) sebesar 292,68 kg/mm.
5. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan terhadap parameter karakteristik Marshall dengan variasi penambahan arang kayu tumbuk dengan menggunakan grafik hubungan antara parameter campuran aspal dengan persentase penambahan arang kayu tumbuk yang digunakan untuk menentukan kadar arang kayu tumbuk maksimum, didapatkan penambahan arang kayu tumbuk maksimum yaitu sebesar 8%.

6.2 Saran

Sesuai hasil penelitian dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian ini dapat direkomendasikan bahwa arang kayu tumbuk bisa digunakan sebagai bahan tambah pada filler.
2. Pada penelitian selanjutnya bisa menggunakan limbah-limbah arang kayu yang sudah dibakar ditempat terbuka, untuk mengetahui perbandingan karakteristik marshall dengan limbah kayu yang dibakar secara tertutup.
3. Penelitian ini bisa dikembangkan kembali dengan menggunakan agregat dari lokasi yang berbeda khususnya di Kalimantan Tengah untuk meningkatkan potensi sumber daya alam yang ada.
4. Penelitian ini masih bisa diadakan untuk penelitian kembali dengan variasi Kadar aspal yang berbeda dengan penambahan filler arang kayu tumbuk yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiansyah. 2013. *Serbuk Arang Kayu*. Skripsi FPEB UPI. Bandung.
- Andy. 2020. *Pemanfaatan Abu Serbuk Hasil Penggajian Kayu Sebagai Bahan Tambahan Filler Pada Campuran Perkerasan Jalan Jenis HRS-WC (Hot Rolled Sheet-Wearing Course)*. Skripsi FT UPR. Palangka Raya.
- Anonim. 2018. *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Divisi 6. Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia*.
- Budianto. 2000. *Mendefinisikan Pengertian Kayu*.
- Cahaya. 2018. *Karakteristik Penggunaan Abu Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Filler Pada Campuran Laston Lapis Aus*.
- Desriantomy. 2007. *Penuntun Praktikum Bahan Perkerasan Jalan Raya*. Palangka Raya: Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
- Fakhtur. 2020. *Penggunaan Filler Arang Kayu Pada Aspal HRS-WC dan Aspal AC-WC*.
- Haygreen, J. G., dan J. L. Bowyer. 1996. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu: Suatu Pengantar*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Haygreen, J. G., dan J. L. Bowyer. 1982. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu: Diterjemahkan oleh Sutjipto A.H Gadjah Mada University Press*.
- Ida Nurwati. 2006. *Serbuk Gergaji Kayu*.
- Kasmujo. 2001. *Berat Jenis Kayu*.
- Putra. 2019. *Studi Eksperimental Penambahan Serbuk Arang Kayu Dengan Kadar Air 10% Terhadap Filler Semen Pada Campuran Perkerasan AC-WC*.
- Rachman, dan Suparman. 1978. *Mendefinisikan Limbah Kayu: Diterjemahkan oleh Iriawan (1993)*.
- Rasoni. 2018. *Kandungan Yang Terdapat Pada Serbuk Arang Kayu*
- Ristianingsih Y, Ulfa A, Syafitri R, K,S, 2015. *Mendefinisikan Arang Kayu*. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat.

- Rasoni. 2018. *Kandungan Yang Terdapat Pada Serbuk Arang Kayu*
- Sartika. 2019. *Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Filler Aspal Penetrasi 60/70*.
- Sukirman,S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova: Bandung.
- Sunarso, dan Simarmata. 1980. *Mendefinisikan Limbah Kayu: Diterjemahkan oleh Iriawan (1993)*.
- Sumadiwangsa, dan Widarmana. 1982. *Jenis Limbah Kayu*.
- Widiarto. 1995. *Definisi Briket Arang*. Dikutip oleh Arganda 2007.
- Woelandari. 2021. *Pengaruh Penggunaan Abu Daun Bambu Sebagai Filler Pada Campuran HRS-WC (Hot Rolled Sheet)*.
- Yuslinggam. 2018. *Pengaruh Penggunaan Abu Serbuk Kayu Sebagai Filler Pada Campuran Laston Lapis AUS (AC-WC)*. Skripsi FT USK.

