

TUGAS AKHIR

PERKERASAN JALAN (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH CAMPURAN ARANG KAYU DAN PASIR LAUT

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Dwi Prasetyo
NIM : 30201800049**

**Gery Rizki Bijaksana
NIM : 30201800075**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PERKERASAN JALAN (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH CAMPURAN
ARANG KAYU DAN PASIR LAUT



Dwi Prasetyo
NIM. 30201800049



Gery Rizki Bijaksana
NIM. 30201800075

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 14 Agustus 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Dr. Juny Andry Sulistyono, ST., MT
NIDN: 0611118903

2. M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng
NIDN: 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 06 / A.2 / SA – T / VII / 2025

Pada hari ini tanggal 14 Agustus 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing:

Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST, MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir :

Dwi Prasetyo
NIM. 30201800049

Gery Rizki Bijaksana
NIM. 30201800075

Judul : Perkerasan Jalan (AC-WC) dengan bahan tambah campuran Arang kayu dan Pasir laut

Dengan tahapan sebagai berikut:

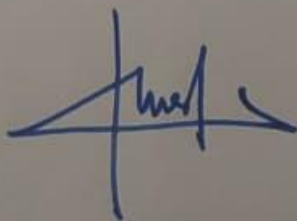
No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan dosen pembimbing	22/04/2025	ACC
2.	Seminar Proposal	12/07/2025	ACC
3.	Pengumpulan data	22/07/2025	ACC
4.	Analisis data	29/07/2025	ACC
5.	Penyusunan laporan	30/07/2025	ACC
6.	Selesai laporan	05/08/2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

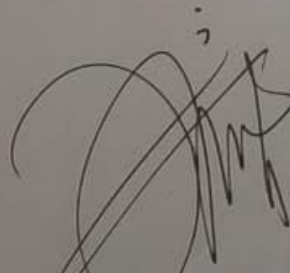
Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dosen Pembimbing



Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng
NIDN: 0625059102



Dr. Juny Andry Sulistyo, ST., MT
NIDN: 0611118903

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

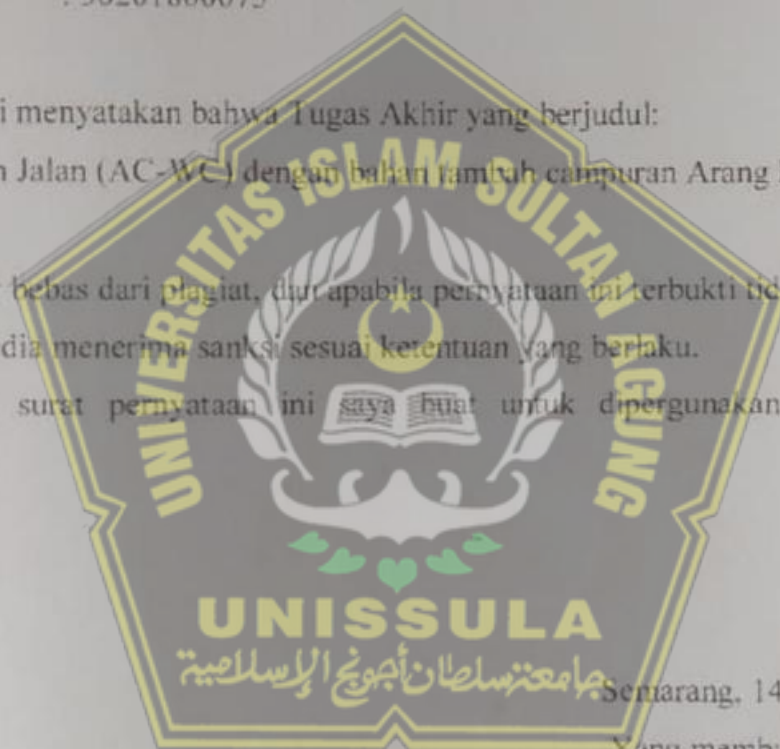
1. NAMA : Dwi Prasetyo
NIM : 30201800049
2. NAMA : Gery Rizki Bijaksana
NIM : 30201800075

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:

Perkerasan Jalan (AC-WC) dengan bahan tambah campuran Arang kayu dan Pasir laut.

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, 14 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,

Dwi Prasetyo
NIM: 30201800049



Gery Rizki Bijaksana
NIM: 30201800075

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Dwi Prasetyo

NIM : 30201800049

NAMA : Gery Rizki Bijaksana

NIM : 30201800075

JUDUL TUGAS AKHIR : Perkerasan Jalan (AC-WC) dengan bahan tambah campuran Arang kayu dan Pasir laut

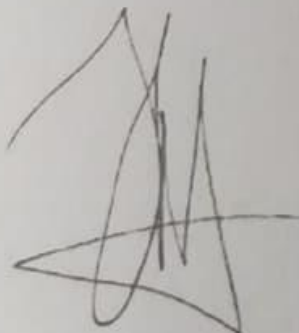
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

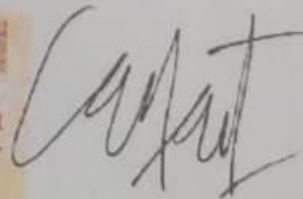
Semarang, 14 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Dwi Prasetyo

NIM: 30201800049



Gery Rizki Bijaksana

NIM: 30201800075

MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah SWT. Sekiranya ahli kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.”(Q.S Ali Imran: 110).

“Jika penduduk negeri-negeri beriman dan bertaqwa, pastilah kami akan melimpahkan kepada mereka berkah dari langit dan bumi, tetapi mereka mendustakan (ayat-ayat kami) itu, maka kami siksa mereka disebabkan perbuatannya.” (Q.S Al-A'raf: 96).

“Belajarlh kamu semua, dan mengajarlh kamu semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu.” (H.R Tabrani).

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”. (Q.S Al-insyirah: 5-6).

“Barangsiapa yang keluar untuk menuntut ilmu, makai ia berada di jalan Allah hingga ia pulang.” (H.R Tirmidzi).

“Dan barangsiapa yang bertaqwa kepada Allah SWT, Niscaya, Allah SWT menjadika n baginya kemudahan dalam urusannya.” (Q.S At-Talaq: 4).

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah di anugerahkan. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orangtua kami yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen peinbimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
4. Ibnu Bagus Wicaksono, ST, dan Andriyan Rahmat A.N, ST yang selama ini mensupport dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati sukaduka selama mengerjakan Tugas Akhir.
5. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto, dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Teman-teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu persatu.



Dwi Prasetyo
NIM: 30201800049



Gery Rizki Bijaksana
NIM: 30201800075

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja danpuji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perkerasan Jalan (AC-WC) dengan bahan tambah campuran Arang kayu dan Pasir laut”

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah SWT Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada:

1. Bapak Dr.Abdul Rochim, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.
3. Bapak Eko Muliawan Satrio, ST., MT, selaku Wakil Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.
4. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Semarang, 14 Agustus 2025

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
BERITA ACARA.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Kadar Aspal Optimum.....	6
2.2 Density.....	6
2.3 Sifat Pasir Laut	7
2.4 Pasir Laut dan Campuran Aspal.....	8
2.5 Arang Kayu.....	10
2.6 Penyusunan Perkerasan Jalan	11
2.7 Persyaratan Agregat.....	12
2.8 Gradasi Agregat.....	13
2.9 Material Penyusun Perkerasan Jalan.....	14
2.10 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis (AC-WC).....	15
2.11 Aspal.....	15

2.12 Penentuan Kadar Aspal Optimum Dengan Metode Marshall.....	16
2.13 Pengikat Bitumen	17
2.14 Sifat Bahan Agregat Asphalt Wearing Course	18
2.15 Lapisan Pengikat	20
2.16 Validitas	20
2.17 Sifat-Sifat Campuran Aspal.....	21
2.18 Laston Lapis Aus.....	22
2.19 Penelitian Terdahulu.....	22
 BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Tipe Penelitian.....	25
3.2 Bahan Dan Peralatan Penelitian.....	25
3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian.....	26
3.4 Prosedur Perencanaan Penelitian.....	28
3.5 Metode Analisis.....	43
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Persiapan Material.....	46
4.2 Pengujian Laboratorium	47
4.3 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Laboratorium.....	53
4.4 Pengujian Marshall	54
4.4.1 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut 0%, 2%, 4%, 6%.....	55
4.4.2 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut 0%, 2%, 4%, 6%.....	60
4.4.3 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut 0%, 2%, 4%, 6%.....	65

4.4.4 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut 0%, 2%, 4%, 6%.....	70
4.4.5 Rekapitulasi Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Arang Kayu 0%, 2%, 4%, 6% Dengan Persentase Pasir Laut 0%, 2%, 4%, 6%.....	75
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	82
5.1 Kesimpulan.....	82
5.2 Saran.....	83
 DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	86



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Agregat Kasar	12
Tabel 2.2 Persyaratan Agregat Halus	13
Tabel 2.3 Spesifikasi Pengujian Aspal	15
Tabel 2.4 Gradasi Agregat Lapis Drainase Untuk Wearing Course.....	19
Tabel 2.5 Sifat-sifat Agregat Lapis Untuk Wearing Course	19
Tabel 2.6 Peneliti Terdahulu.....	22
Tabel 3.1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum	32
Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Untuk Variasi Arang Kayu dan Pasir Laut.....	32
Tabel 3.3 Variasi dan Komposisi Campuran Aspal	33
Tabel 3.4 Komposisi dan Nama Jenis Benda Uji.....	41
Tabel 4.1 Pengujian Aspal Pen 60-70 (Pertamina.....	47
Tabel 4.2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat.....	48
Tabel 4.3 Hasil Analisis Pembagian Butiran Agregat II (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)	49
Tabel 4.4 Hasil Analisis Pembagian Butiran Agregat III (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)	50
Tabel 4.5 Hasil Analisis Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	51
Tabel 4.6 Hasil Analisis Pembagian Butiran Pasir (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	52
Tabel 4.7 Perhitungan Kombinasi Agregat (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27- 88).....	53
Tabel 4.8 Pemeriksaan Pengujian Laboratorium (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	54
Tabel 4.9 Hasil Marshall Komposisi Arang Kayu 0% dengan Persentase Pasir Laut.....	56
Tabel 4.10 Hasil Marshall Komposisi Arang Kayu 2% dengan Persentase Pasir Laut.....	61
Tabel 4.11 Hasil Marshall Komposisi Arang Kayu 4% dengan Persentase Pasir Laut.....	66
Tabel 4.12 Hasil Marshall Komposisi Arang Kayu 6% dengan Persentase Pasir Laut.....	71
Tabel 4.13 Rekap Hasil rata-rata Komposisi Arang Kayu dengan Pasir Laut	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Marshall Compaction Hammer dan Alat Marshall Test	17
Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Persiapan Bahan Arang Kayu Sebagai Bahan Tambah	46
Gambar 4.2 Persiapan Bahan Pasir Laut Sebagai Bahan Tambah.....	46
Gambar 4.3 VMA Komposisi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut	57
Gambar 4.4 VIM Komposisi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut	57
Gambar 4.5 VFB Komposisi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut	58
Gambar 4.6 Stabilitas Komposisi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut	59
Gambar 4.7 Flow Komposisi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut	59
Gambar 4.8 MQ Komposisi Arang Kayu 0% Dengan Persentase Pasir Laut	60
Gambar 4.9 VMA Komposisi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut	62
Gambar 4.10 VIM Komposisi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut	62
Gambar 4.11 VFB Komposisi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut	63
Gambar 4.12 Stabilitas Komposisi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut	64
Gambar 4.13 Flow Komposisi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut .	64
Gambar 4.14 MQ Komposisi Arang Kayu 2% Dengan Persentase Pasir Laut	65
Gambar 4.15 VMA Komposisi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut.	67
Gambar 4.16 VIM Komposisi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut .	67
Gambar 4.17 VFB Komposisi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut .	68
Gambar 4.18 Stabilitas Komposisi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut	68
Gambar 4.19 Flow Komposisi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut.	69
Gambar 4.20 MQ Komposisi Arang Kayu 4% Dengan Persentase Pasir Laut	69
Gambar 4.21 VMA Komposisi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut.	72
Gambar 4.22 VIM Komposisi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut .	72
Gambar 4.23 VFB Komposisi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut .	73
Gambar 4.24 Stabilitas Komposisi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut	73

Gambar 4.25 Flow Komposisi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut.	73
Gambar 4.26 MQ Komposisi Arang Kayu 6% Dengan Persentase Pasir Laut ..	73
Gambar 4.27 Rekapitulasi VMA Komposisi Arang Kayu Dengan Pasir Laut ..	75
Gambar 4.28 Rekapitulasi VIM Komposisi Arang Kayu Dengan Pasir Laut ...	75
Gambar 4.29 Rekapitulasi VFB Komposisi Arang Kayu Dengan Pasir Laut ...	76
Gambar 4.30 Rekapitulasi Stabilitas Komposisi Arang Kayu Dengan Pasir Laut	76
Gambar 4.31 Rekapitulasi Flow Komposisi Arang Kayu Dengan Pasir Laut ...	77
Gambar 4.32 Rekapitulasi MQ Komposisi Arang Kayu Dengan Pasir Laut	78



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan arang kayu dan pasir laut sebagai bahan tambah pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) terhadap karakteristik mekanis campuran aspal. Arang kayu dipilih karena sifatnya yang ringan, berpori, serta mampu meningkatkan stabilitas dan daya serap aspal, sedangkan pasir laut dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian agregat halus untuk menilai kelayakan pemanfaatannya dalam konstruksi jalan.

Variasi campuran dibuat dengan menambahkan arang kayu sebanyak 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat total agregat, serta pasir laut sebanyak 0%, 2%, 4% dan 6% sebagai bahan tambah. Uji Marshall digunakan untuk menilai parameter stabilitas, kelelahan (flow), Marshall Quotient, dan nilai VIM, VMA, serta VFB.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan arang kayu 0% hingga 2% masih memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga 2018. Kombinasi bahan tambah ini berpotensi meningkatkan stabilitas dan ketahanan deformasi plastis campuran, namun penambahan berlebih cenderung menurunkan kohesi dan ketahanan terhadap kelembaban. Dengan demikian, arang kayu dan pasir laut dapat digunakan secara terbatas sebagai bahan tambah alternatif dalam campuran AC-WC, terutama untuk tujuan keberlanjutan dan pemanfaatan material lokal.

Kata kunci : AC-WC; Arang Kayu; Marshall Test; Pasir Laut

ABSTRACT

This study investigates the effects of incorporating wood charcoal and sea sand as additive materials in the Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) mixture. Wood charcoal, known for its porous structure and lightweight properties, is expected to enhance the absorption and bonding of asphalt binder, while sea sand is examined as a partial substitute for fine aggregates to promote the use of local materials.

The experimental design includes the addition of 0%, 2%, 4%, and 6% wood charcoal by total aggregate weight, and 0%, 2%, 4% and 6% sea sand as a mixing complement. Marshall tests were conducted to evaluate key parameters such as stability, flow, Marshall Quotient, Voids in Mix (VIM), Voids in Mineral Aggregate (VMA), and Voids Filled with Bitumen (VFB).

The results indicate that the addition of 0% up to 2% wood charcoal meets the requirements of the Indonesian Directorate General of Highways (Bina Marga, 2018). These additives demonstrated improved stability and deformation resistance, though excessive usage led to decreased cohesion and moisture resistance. Overall, wood charcoal and sea sand show potential as sustainable alternative additives in AC-WC mixtures when used in optimal proportions.

Keywords : AC-WC; Wood Charcoal; Marshall Test; Sea Sand

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia perkerasan jalan memiliki banyak tantangan yang mempengaruhi kualitas serta jangka umur panjangnya. Dengan bertambahnya populasi masyarakat dapat mempengaruhi volume kendaraan yang meningkat, jalanan di Indonesia mengalami tekanan berat dan seringkali menyebabkan kerusakan dini. Selain itu, Cuaca yg ekstrim seperti hujan lebat dan iklim panas tropis di Indonesia juga dapat menyebabkan degradasi aspal. Maka dari itu, inovasi dalam perkerasan jalan sangat dibutuhkan guna meningkatkan kualitas jalan serta efisiensi biaya konstruksi jalan.

Menurut Abdul Gaus (2017), pasir laut adalah sumber daya alam yang cukup melimpah di Maluku Utara. Pasir laut diketahui mengandung banyak kalsium, hal ini karena komposisi terbanyak dalam pembentukan pasir laut adalah serpihan cangkang karang laut, karena bahan utama pembentuk cangkang karang laut merupakan kalsium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pasir laut sebagai substitusi bahan dari agregat halus dalam campuran aspal beton AC-WC. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium dengan melakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik *marshall* yang meliputi stabilitas *marshall*, *flow*, *VIM*, *VMA*, dan *marshall quotient*. Menggunakan pasir laut dengan variasi 0% dan 5% dengan jumlah sampel sebanyak 30 sampel. Hasil yang didapat penelitian ini adalah semakin banyak jumlah pasir laut yang digunakan maka semakin rendah nilai stabilitas dan semakin menurunnya nilai *flow*, namun kadar aspal yang berlebihan juga dapat mengakibatkan penurunan nilai stabilitas. Dari hasil pengujian *marshall* dengan pasir laut didapat nilai stabilitas tertinggi yaitu 3136,91 kg pada campuran pasir laut dengan kadar 5% dan kadar aspal 6%.

Ini menunjukkan nilai stabilitas memenuhi dan berdasarkan spesifikasi sifat sifat campuran aspal beton dalam spesifikasi Bina Marga 2010.

Selain itu permasalahan terhadap durabilitas suatu lapisan perkerasan umumnya berkaitan dengan seberapa lama konstruksi perkerasan mampu menjalankan fungsinya tanpa mengalami kerusakan yang fatal. Penyebab menurunnya tingkat keawetan biasanya adalah volume lalu lintas dan air, permasalahan yang berhubungan dengan keawetan campuran aspal (Muhammad Fakhtur Rohman, Akhmad Hasanuddin, 2020)

Arang mengandung senyawa karbon nonpolar sama seperti senyawa karbon pada aspal, (Mashuri, 2008) arang merupakan material lokal yang mudah ditemukan. Arang harganya jauh lebih murah jika dibandingkan dengan harga semen, sehingga sangat ekonomis jika digunakan sebanyak mungkin sebagai bahan filler pengganti di dalam campuran aspal (Sartika Dan M Yusuf, 2019) Diharapkan penambahan arang sebagai bahan tambah akan dapat memperbaiki kinerja campuran aspal (AC) berupa nilai stabilitas, nilai kelelahan plastis dan durabilitasnya. Sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai limbah arang kayu sebagai bahan tambah pada filler untuk campuran aspal, Arang disini menggunakan limbah kayu mahoni hasil pengolahan pabrik kayu yang bertempat di Kota Cilegon Provinsi Banten.

Bahan pengisi atau filler, umumnya terdiri dari abu batu, kapur dan sement portland, atau bahan non plastis lainnya. Salah satu campuran pada lapis aspal beton adalah semen sebagai filler, kini semen sudah banyak digunakan sebagai filler dan harga semen cukup mahal, Aspal laston dan aspal lataston dipilih sebagai bahan pelapis karena memiliki fungsi yang hampir sama yaitu sebagai lapisan yang kedap terhadap air dan melindungi lapisan dibawahnya. Selain itu aspal laston dan aspal lataston juga dapat memberikan kenyamanan bagi pengendara lalu lintas (Taqia Rahman, 2021). Oleh karena itu bereksperimen mengenai pemanfaatan arang secara optimal sebagai bahan tambah filler pada perkerasan aspal dilapisan (ACWC)

1.2. Rumusan Masalah

Untuk membangun jalan-jalan di seluruh Pulau Jawa, beberapa daerah telah menggunakan Modifikasi Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Kelas ini

menggunakan kualitas aspal polimer 60/70 dan memenuhi persyaratan aspal tipe II B yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis KAO Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) modifikasi dengan pemanfaatan pasir laut dan arang kayu.
2. Menganalisis pengaruh campuran Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC) modifikasi dengan pemanfaatan pasir laut dan arang kayu terhadap VMA, VIM, VFB, Stabilitas, *Flow*, Marshall Quotient

1.4. Manfaat Penelitian

1. Meneliti tentang pengaruh Pasir Laut dan arang kayu modifikasi terhadap stabilitas Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC).
2. Meneliti tentang pengaruh Pasir Laut dan arang kayu modifikasi 4 terhadap durabilitas Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC).

1.5. Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini harus dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuannya. Kriteria berikut merupakan fokus eksklusif dari penelitian ini:

1. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari PT. Semarang Multicon
2. Menggunakan bahan Aspal polimer Pen 60/70.
3. Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) dan campuran aspal yang dibuat adalah Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) modifikasi.
4. Menggunakan 20% hingga 30% dari total agregat, dan melalui proses pembersihan serta pengujian yang ketat
5. Gradasi campuran aspal beton yang digunakan berdasarkan gradasi pada agregat gabungan yang ditunjukkan pada Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6
6. Hanya dilakukan penelitian pada pengujian laboratorium dan tidak dilakukan penghamparan lapangan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika disusun sebagai pedoman penulisan agar tetap terarah untuk mencapai tujuan penelitian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini memberikan gambaran umum tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan proses penulisan penelitian.

BAB II Tinjauan pustaka

Bab ini menguraikan tentang adanya aspek legalitas dan teknis yang berkaitan dengan analisis dalam penelitian. pengembangan berkelanjutan dari teori-teori yang 5 digunakan sebagai dasar untuk mengatasi masalah yang muncul selama penelitian.

BAB III Metode penelitian

Bab ini menguraikan tentang metode pelaksanaan penelitian, mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, bahan penelitian, alat survei, waktu, serta cara dan proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV Hasil penelitian dan pembahasan

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan penelitian aktual yang dilakukan.

BAB V Kesimpulan dan saran

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil dan membuat beberapa rekomendasi yang dapat diterapkan untuk mendukung penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Jalan adalah sarana transportasi darat yang berperan penting dalam sektor perhubungan untuk menghubungkan antara satu kota dengan kota lainnya, antara kota dengan desa, antara satu desa dengan desa lainnya. Adanya kerusakan jalan akan mempengaruhi keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan jalan antara lain air, perubahan suhu, cuaca, temperatur udara, material konstruksi perkerasan, kondisi tanah dasar yang tidak stabil, proses pemadatan di atas lapisan tanah dasar yang kurang baik, kapasitas muatan kendaraan yang berlebihan, dan meningkatnya volume kendaraan.

Survey kondisi perkerasan perlu dilakukan secara periodik baik struktural maupun non-struktural untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan yang ada. Pemeriksaan non-struktural (fungsional) bertujuan untuk mengevaluasi kerataan (kerataan), kekasaran (texture), dan kekesatan (kekerasan skid). Pengukuran karakteristik kerataan lapis permukaan jalan akan membantu dalam menentukan rencana rehabilitasi dan pemeliharaan jalan. Keterbatasan peralatan adalah salah satu alasan mengapa belum banyak upaya yang dilakukan untuk mengukur dan mengevaluasi kerataan jalan di Indonesia. Karena kerataan jalan memengaruhi keselamatan pengguna jalan, pemeriksaan kerataan rutin diperlukan untuk mengidentifikasi kerusakan yang perlu diperbaiki.

Keselamatan lalu lintas dan angkutan jalan berarti menghindari setiap orang dari risiko kecelakaan yang terjadi selama berlalu lintas yang disebabkan oleh manusia, kendaraan, jalan, dan atau lingkungan (Lanjati, 2017). Kenyamanan adalah suatu kondisi perasaan seseorang yang merasa nyaman berdasarkan persepsi masing masing individu. Di sisi lain, kenyamanan adalah keadaan di mana beberapa faktor lingkungan telah memenuhi kebutuhan dasar manusia secara individual. Rasa nyaman dan kenyamanan adalah persepsi seseorang terhadap lingkungannya secara keseluruhan (Prasetyo, 2017). Penilaian jenis dan kondisi perkerasan yang ada adalah komponen paling penting dalam memilih

proyek karena faktor-faktor ini akan menentukan nilai unit manfaat ekonomi perbaikan jalan.

2.1. Kadar Aspal Optimum

Persyaratan mutlak untuk setiap campuran lapis perkerasan beraspal adalah kadar aspal optimum yang digunakan dalam campuran yang kemudian dihampar di lapangan. Besaran kadar aspal optimum bervariasi tergantung pada sifat aspal, agregat, gradasi agregat, dan jenis campuran. Lapis perkerasan di atas selalu lebih besar dari aspal. Kadar aspal AC-WC yang kedap air lebih tinggi daripada lapis perkerasan di bawahnya. Hal ini disebabkan oleh kemampuan aspal untuk memenuhi celah yang terbentuk dalam campuran. Dengan mengisi rongga-rongga ini, volume rongga akan diperkecil. Akibatnya, air tidak dapat meresap ke lapisan aspal di bawahnya. dengan kemiringan melintang badan jalan antara 2 dan 4 persen air hujan akan mengalir ke luar badan jalan. Persyaratan yang ditentukan harus dipenuhi. Properti berikut diperlukan untuk campuran laston memenuhi:

- a. Kepadatan
- b. Rongga dalam campuran (*Void in The Mix*)
- c. Aspal Pengisi Rongga (*Void Filling Bitumen*)
- d. Stabilitas Marshall
- e. Meleleh (*Flow*)

Penelitian lebih lanjut akan dilanjutkan dengan beberapa pembahasan, berdiskusi, meneliti, atau sebelumnya dilakukan dalam bentuk jurnal, seminar nasional dan lain-lain.

2.2. Density

Density atau kepadatan adalah berat campuran padat tiap satuan volume, merupakan nilai yang menunjukkan kepadatan campuran setelah dipadatkan. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi campuran, kualitas bahan penyusun campuran, kadar filler, kadar aspal dan proses pemadatan. Secara umum dapat dikatakan bahwa penambahan kadar filler dan

kadar aspal akan meningkatkan nilai kepadatan hingga suatu nilai maksimum, dimana filler dan aspal akan mengisi rongga-rongga campuran yang akan menambah tingkat kepadatan. Spesifikasi tidak memberikan batasan nilai *density* untuk campuran perkerasan jalan.

2.3. Sifat Pasir Laut

Pasir laut memiliki potensi besar sebagai bahan campuran untuk pembuatan aspal dalam perkerasan jalan di Indonesia. Namun, untuk memaksimalkan manfaatnya dan memastikan hasil yang optimal, penting untuk memahami sifat-sifat pasir laut yang mempengaruhi kinerjanya dalam campuran aspal.

a. Ketersediaan dan Keterjangkauan

Pasir laut merupakan sumber daya alam yang melimpah di wilayah pesisir Indonesia. Ketersediaannya yang melimpah menjadikannya bahan yang mudah diakses dan relatif murah dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya yang mungkin perlu diimpor atau diangkut dari lokasi yang jauh. Penggunaan pasir laut dapat mengurangi biaya material dan meningkatkan kemandirian dalam pembangunan infrastruktur jalan.

b. Butiran yang Konsisten

Pasir laut umumnya memiliki butiran yang tajam dan konsisten. Karakteristik ini penting karena butiran yang tajam dapat meningkatkan *interlocking* atau pengikatan antar partikel dalam campuran aspal, sehingga meningkatkan stabilitas dan kekuatan struktural jalan. Pasir laut juga memiliki ukuran butiran yang bervariasi, yang dapat disesuaikan untuk memenuhi spesifikasi teknis campuran aspal.

c. Stabilitas Struktural

Salah satu sifat utama pasir laut adalah kemampuannya memberikan stabilitas tambahan pada campuran aspal. Butiran pasir laut yang tajam dan konsisten membantu dalam memperkuat struktur campuran, sehingga jalan yang dihasilkan lebih kuat dan tahan lama. Stabilitas ini sangat penting untuk menangani beban lalu lintas yang tinggi dan mencegah deformasi atau kerusakan pada jalan.

d. Tantangan Kandungan Garam dan Bahan Organik

Pasir laut juga memiliki tantangan tersendiri yang perlu diatasi sebelum digunakan dalam campuran aspal. Salah satu tantangan utama adalah kandungan garam yang tinggi. Garam dapat menyebabkan korosi pada material logam di sekitar jalan dan mempengaruhi kualitas pengikatan aspal. Oleh karena itu, pasir laut harus melalui proses pembersihan untuk menghilangkan 8 garam sebelum digunakan. Selain garam, pasir laut juga dapat mengandung bahan organik seperti sisa-sisa tumbuhan laut. Bahan organik ini dapat mempengaruhi kualitas campuran aspal dan menyebabkan degradasi seiring waktu. Proses penyaringan dan pembersihan yang tepat harus dilakukan untuk memastikan bahwa pasir laut bebas dari bahan organik sebelum dicampurkan dengan aspal.

e. Potensi Penggunaan dalam Campuran Aspal

Dengan proses pembersihan dan pengolahan yang tepat, pasir laut memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan aspal. Kadar pasir laut yang optimal dalam campuran biasanya berkisar antara 20% hingga 30% dari total agregat. Proses pembersihan yang ketat untuk menghilangkan garam dan bahan organik memastikan bahwa pasir laut memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk perkerasan jalan.

2.4. Pasir Laut dan Campuran Aspal

Pasir laut, mirip dengan plastik, memiliki potensi besar untuk meningkatkan mutu campuran aspal dalam perkerasan jalan. Penggunaan pasir laut dalam campuran aspal dapat memberikan sejumlah keuntungan, termasuk ketersediaan bahan yang melimpah, biaya yang lebih rendah, dan karakteristik fisik yang mendukung stabilitas dan kekuatan jalan. Ada dua metode utama yang dapat digunakan untuk mencampur pasir laut ke dalam aspal, yaitu metode basah dan metode kering, mirip dengan metode pencampuran plastik.

a. Metode Basah (*Wet Process*)

Dalam metode basah, pasir laut dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai campuran menjadi homogen. Metode ini

memastikan bahwa butiran pasir laut tersebar merata dalam campuran aspal, memberikan stabilitas tambahan dan meningkatkan kekuatan struktural jalan. Namun, metode ini membutuhkan investasi tambahan, seperti bahan bakar dan mixer berkecepatan tinggi, sehingga biaya produksinya lebih tinggi dibandingkan dengan aspal konvensional. Kelebihan metode ini adalah hasil campuran yang sangat homogen, yang sangat penting untuk kualitas dan daya tahan jalan.

b. Metode Kering (*Dry Process*)

Metode kering melibatkan pencampuran pasir laut dengan agregat yang sudah dipanaskan pada suhu tertentu, kemudian aspal panas ditambahkan ke dalam campuran tersebut. Metode ini lebih ekonomis karena tidak memerlukan peralatan tambahan seperti *mixer* berkecepatan tinggi. Pasir laut yang dimasukkan ke dalam agregat panas dapat membantu meningkatkan ikatan antar partikel dalam campuran aspal, memberikan stabilitas dan kekuatan tambahan pada jalan. Namun, tantangan utama dalam metode ini adalah memastikan kehomogenan dan keseragaman kadar pasir laut yang dicampurkan. Tanpa pencampuran yang merata, kualitas campuran aspal bisa bervariasi, yang dapat mempengaruhi kinerja dan umur panjang jalan.

c. Kelebihan Pasir Laut dalam Campuran Aspal

1) Ketersediaan dan Keterjangkauan

Pasir laut tersedia dalam jumlah besar di wilayah pesisir Indonesia, membuatnya menjadi bahan yang mudah diakses dan murah. Ini mengurangi biaya material dan mendukung kemandirian dalam pembangunan infrastruktur jalan.

2) Stabilitas Struktural

Pasir laut memiliki butiran yang tajam dan konsisten, yang dapat memberikan stabilitas tambahan pada campuran aspal. Butiran pasir laut membantu meningkatkan *interlocking* antar partikel, sehingga jalan yang dihasilkan lebih kuat dan tahan lama.

3) Pengurangan Eksploitasi Pasir Sungai

Penggunaan pasir laut dapat mengurangi tekanan pada pasir sungai yang sering dieksploitasi secara berlebihan. Ini membantu menjaga ekosistem sungai dan mencegah erosi yang disebabkan oleh penambangan pasir yang tidak terkendali.

2.5 Arang Kayu

Arang kayu adalah sisa pembakaran kayu yang memiliki warna hitam, bentuk menyerupai batu bara, dan ringan. Arang kayu dihasilkan dari proses pirolisis (karbonisasi) kayu, di mana kayu dipanaskan dengan pasokan oksigen yang terbatas. Arang kayu sebagian besar terdiri dari karbon, dengan kandungan sekitar 85% hingga 98%.

Sifat arang kayu :

1. Ringan Memiliki densitas rendah
2. Porositas tinggi Mampu menyerap cairan dan mengikat partikel.
3. Stabil secara kimia Tahan terhadap degradasi kimia dalam jangka panjang.
4. Hidrofobik sebagian Tidak larut dalam air, namun bisa menyerap air tergantung struktur mikropori.
5. Tahan panas Tidak mudah terbakar setelah karbonisasi sempurna.
6. Bersifat karbon tinggi Kandungan karbon >70%, tergantung proses pembuatannya.

AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) adalah lapisan aus teratas dari struktur perkerasan jalan yang langsung menerima beban lalu lintas. Penambahan arang kayu sebagai bahan aditif atau substitusi filler (pengisi) dalam campuran AC-WC memiliki beberapa pengaruh:

1. Stabilitas marshal dapat meningkat karena arang kayu dapat menyerap aspal dan meningkatkan ikatan antar partikel
2. *Void in mi* (VIM) cenderung meningkat karena porositas tinggi arang kayu
3. *Void filled with asphalt* (VFA) dapat menurun jika jumlah arang kayu terlalu banyak

4. durabilitas dapat meningkat jika arang membantu menstabilkan aspal dan mengurangi *stripping* (pengelupasan)
5. Nilai flow dapat menurun karena arang cenderung mengeraskan campuran
6. berat jenis campuran cenderung menurun karena arang memiliki *densitas* rendah
7. ketahanan terhadap air dapat meningkat karena arang menyerap air dan membantu mengurangi kerusakan.
8. kinerja terhadap suhu tinggi sangat stabil karena arang tahan panas dan dapat membantu mencegah bleeding

2.6. Penyusunan Perkerasan Jalan

Agregat adalah mineral padat ukuran besar atau kecil dalam bentuk koloid atau pecahan, seperti kerikil, pasir, batu pecah halus, atau mineral lainnya yang berasal dari alam atau buatan. Agregat membentuk sebagian besar struktur perkerasan, mencakup 75% hingga 85% dari dasar persen massa atau 90% hingga 95% dari dasar persen berat. Oleh karena itu, sifat-sifat agregat dan hasil pencampurannya dengan bahan lain berkontribusi pada kualitas trotoar. Tingkat, kebersihan, kekerasan, kekuatan komposit, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kapasitas penyerapan air, berat jenis, dan daya lekat aspal adalah semua faktor yang mempengaruhi kualitas perkerasan jalan secara keseluruhan, yang merupakan salah satu faktor yang menentukan kemampuan perkerasan untuk mendukung beban lalu lintas dan ketahanan cuaca, banyak set yang memiliki banyak pori-pori, lebih parah lagi karena aspal menjadi lebih tipis karena banyaknya aspal yang terserap. Nilai absorbansi agregat sendiri, yang merupakan perubahan berat agregat sebagai hasil dari penyerapan air melalui pori-pori bersama agregat pada kondisi kering, dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Penyerapan aggregate kasar} = \frac{B_i - B_k}{B_k} \times 10\% \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Penyerapan aggregate halus} = \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- B : Berat piknometer berisi air (gr)
 Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)
 Bs : Berat sampel (gr)
 Bj : Berat sampel kering permukaan jenuh (gr)
 Bk : Berat sampel kering oven (gr)

2.7 Persyaratan Agregat

Berdasarkan pada jenis dan ukuran partikel, agregat dibagi menjadi agregat kasar/agregat halus dan bahan pengisi. a. Agregat Kasar Agregat kasar yang digunakan untuk desain harus bersih, tahan lama, dan bebas dari tanah liat atau kotoran lainnya. Itu juga harus tertahan pada saringan nomor 4 (4,75 mm). Untuk pengujian, bahan baku harus berupa batu atau kerikil yang telah pecah dan dikirim dalam ukuran standar. Untuk memastikan keamanan lalu lintas, permukaan jalan menjadi lebih stabil dan tahan slip. Agregat kasar memiliki bentuk butiran bulat, yang memudahkan pemadatannya, tetapi stabilitasnya rendah. Agregat bersudut, di sisi lain, memiliki bentuk yang sulit runtuh tetapi stabil. Agar agregat kasar digunakan sebagai campuran proses keausan, perlu memenuhi nilai uji kehilangan sudut keausan.

Tabel 2.1 Persyaratan agregat kasar

Pengujian			Metode pengujian	nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat		SNI- 3407-2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin los angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2407-2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal 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 D4791-10	Maks. 5%
	Lainnya		Perbandingan 1-5	Maks. 10%
Material lolos ayakan no. 200			SNI ASTM C117-2012	Maks. 1%

sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

b. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran partikel kurang dari 2,36 mm. Saringan no. 8. Dengan saling mengunci antar partikel, agregat dapat diperbaiki stabilisasi campuran; Agregat halus juga mengisi celah antar partikel pasir alami, batu pecah, atau kombinasi keduanya bisa menjadi bahan ini. Spesifikasi Divisi Bina Marga Tahun 2018 menetapkan persyaratan umum untuk agregat halus.

Tabel 2.2 Persyaratan agregat halus

Ukuran Ayakan		Kumulatif berat lolos Terhadap total Agregat (%)	
ASTM	(mm)	Batas bawah	Batas atas
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90	100
3/8"	9,5	77	90
No. 4	4,75	53	69
No. 8	2,36	33	53
No. 16	1,18	21	40
No. 30	0,6	14	30
No. 50	0,3	9	22
No. 100	0,15	6	15
No. 200	0,075	4	9

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

c. Filler (Bahan Pengisi)

Bahan yang melewati filter No.200 (0,075 mm) dan beratnya tidak kurang dari 75% disebut pengisi. Fungsi beban adalah untuk mengisi celah udara pada material dan membuat lapisan aspal lebih keras. Pengeluaran dapat digunakan sebagai semen portland atau debu abu.

2.8 Gradasi Agregat

Meratakan dapat digunakan untuk mengetahui kestabilan perkerasan. Kemudahan implementasi dan stabilitas dipengaruhi oleh ukuran ruang antar

partikel, yang sering terpengaruh pada skala global. Hiraki sintetik dibedakan berdasarkan beberapa faktor berikut:

a. Gradasi Seragam (Uniform Graded)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang kira-kira sama. Gradasi seragam juga dikenal sebagai peredupan terbuka karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga banyak lubang atau rongga ruang antar himpunan. Campuran aspal dibuat dengan klasifikasi ini berpori atau sangat permeabel, stabilitas rendah dan memiliki berat jenis yang rendah.

b. Gradasi Rapat (Dense Graded)

Gradasi rapat merupakan gradasi yang terdapat pelet sintetik didalamnya, mulai dari kasar hingga halus dalam fraksi yang seimbang, sehingga banyak disebut sebagai kontinu atau bergradasi baik. Agregat gradasi dianggap jika presentase dapat lulus setiap kelas tingkat jika memenuhi:

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm (%)

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan (%)

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka (%)

Agregat dengan lereng padat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan kestabilan yang tinggi, daya serap air yang rendah, drainase yang buruk, dan berat unit yang tinggi.

c. Gradasi Senjang (Gap Graded)

Peningkatan komposit di mana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau memiliki bagian global yang tidak ada atau sangat kecil dikenal sebagai gradasi senjang. Agregat dengan gap grading akan membentuk lapisan perkerasan kualitasnya antara agregat bergradasi pertemuan dan seragam.

2.9. Material Penyusun Perkerasan

Jalan Batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, alami atau buatan, dalam bentuk mineral padat dalam ukuran besar atau kecil atau serpihan disebut agregat. Komponen utama struktur perkerasan adalah grade, bervariasi dari 75-85% dari total persen volume atau 90-95% agregat sebagai persentase berat. Akibatnya, properti agregat dan output campurannya dengan bahan lain juga menentukan kualitas trotoar. Salah satu faktor yang menentukan daya dukung perkerasan yang didukung beban lalu lintas dan tahan cuaca adalah karakteristik keseluruhannya. Faktor- faktor yang mempengaruhi kualitas agregat untuk bahan paving adalah: jenis, kebersihan, kekerasan, kekuatan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, penyerapan air, densitas dan daya lekat aspal. Aspal teradsorpsi akan menghasilkan agregat bitumen yang lebih halus dan lebih berpori tinggi akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih besar. jumlah air penyerapan oleh agregat digunakan untuk menentukan jumlah pori. Jumlah pori dihitung berdasarkan jumlah air yang diserap agregat.

2.10 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis (AC-WC)

Kualitas agregat sebagai bahan perkerasan jalan ditentukan oleh sifatnya. Agregat itu sendiri adalah bahan yang keras dan kaku. Untuk membawa beban lalu lintas ke lapisan bawah, pelapisan permukaan langsung harus memiliki kualitas yang baik. Klasifikasi agregat sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan adalah sebagai berikut:

2.11 Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sebagaimana mestinya dengan kondisi yang ada seperti pada table berikut :

No.	Jenis Pengajuan	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25° C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	50 – 80
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	≥ 54
3.	Indeks Penetrasi	-	$\geq - 1,0$
4.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 150

No.	Jenis Pengajuan	Metode Pengujian	Persyaratan
5.	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6.	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
7.	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	$\geq 0,8$

Tabel 2.3. Spesifikasi pengujian aspal

(Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal tabel)

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Ketika dipanaskan, sebagian besar interaksi fisika kimia didalam aspal tersebut melemah atau bahkan hilang sama sekali. Kondisi ini membuat bagian-bagian tunggal dari rantai molekulnya menjadi lebih mudah bergerak, sehingga terjadi penurunan kekakuan dan kekentalan (viskositas).

2.12 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Marshall Test merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 ton. Proving ring ini akan dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran, sedangkan arloji kelelahan (flow meter) berfungsi untuk mengukur plastis (flow). Setelah dilakukan semua benda uji akan dibuat dengan tahapan, maka selanjutnya akan melakukan pengujian untuk memperoleh hasil yang diinginkan dengan alat yang bernama Marshall Test. Pemeriksaan dengan Marshall Test ini pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dan dikembangkan oleh U.S Corps Od Engineer. Hasil dari pemeriksaan Marshall tersebut menggunakan dengan prosedur PC-0201 76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T. Berikut ini akan diperoleh data data sebagai berikut:

- a. Stabilitas yang dinyatakan dalam bidang bilangan bulat, maka stabilitas ini menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (ruting).

- b. Kelelehan plastis (flow) yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch, flow juga dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur
- c. VIM ini merupakan persen rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam bilangan desimal dengan satu angka dibelakang koma, VIM juga merupakan indikator dari durabilitas.
- d. VMA merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat, maka VMA sama dengan VIM juga merupakan indikator dari durabilitas.

Kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan melakukan beberapa kali trial atau uji coba untuk menentukan komposisi gradasi agregat yang tepat, untuk itu di gunakan komposisi perbandingan Agregat batu pecah ukuran 10-15 mm, agregat limbah beton dengan ukuran 5-10 mm, agregat halus ukuran 0-5 mm dan fly ash sebagai bahan pengisi (filler) dengan jumlah tumbukan perbidang 2 x 75 tumbukan yaitu sisi atas dan sisi bawah.

Untuk pencampuran, agregat dan bitumen dipadatkan hingga 280 centistokes (cst) dan dipanaskan hingga viskositas 170 centistokes (cst). Dalam pemadatan, alat yang digunakan adalah marsekal palu. Sampel tidak berhasil diuji pada suhu 60°C 1°C dengan kecepatan pemuatan konstan 51 mm/menit. Bentuk silindernya memiliki tinggi 64 mm dan diameter 102 mm. Arus Marshall adalah amplitude deformasi yang terjadi pada objek yang diuji sebelum hancur, dan stabilitas Marshall adalah beban maksimum yang mungkin dipertahankan spesimen sebelum hancur. Hasil dari gagasan Marshall, ketahanan material terhadap deformasi diukur dalam hubungannya dengan stabilitas dan fluiditas. Selama-lamanya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. pengujian Marshall digunakan.



Gambar 2.1. Marshall Compaction Hammer dan Alat Marshall Test Uji Marshall

2.13 Pengikat Bitumen

Aspal telah lama digunakan di permukaan perkerasan di seluruh dunia sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal. Bitumen adalah produk rumah tangga yang dibuat dari minyak mentah untuk menghasilkan gas minyak bumi, bahan bakar minyak bumi, minyak pelumas, dan solar. Bitumen, yang dihasilkan dari distilasi kedua minyak mentah, kemudian dipisahkan dan diproses untuk digunakan dalam konstruksi perkerasan, bandara, dan pelabuhan, serta dalam pembuatan sirap atap dan produk lainnya.

Aspal biasanya dibuat dari bitumen yang tidak dimodifikasi. Kualitas aspal biasanya dievaluasi berdasarkan viskositasnya atau ketahanan terhadap penetrasi filler pada suhu tertentu. Namun, untuk memenuhi kebutuhan karakteristik teknis campuran aspal, polimer, asam, dan aditif lainnya ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan, retak termal pada suhu tinggi dan kelembaban rendah.

Secara tradisional, untuk membuat aspal, bitumen yang tidak dimodifikasi digunakan. Penilaian untuk aspal ini biasanya didasarkan pada viskositas atau ketahanan filler terhadap suhu tertentu. Namun, seperti banyak negara, Australia dan Inggris terutama menggunakan bitumen atau aspal non-polimer yang dimodifikasi sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal. Inggris

mempertahankan peringkat penetrasi sistematis untuk aspal non-dimodifikasi, sementara Australia menggunakan aspal yang dimodifikasi Meskipun ada banyak hubungan yang berbeda antara sumber, viskositas dan penetrasi biasanya berbanding terbalik, dan nilainya biasanya sama.

2.14 Sifat Bahan Agregat Asphalt Wearing Course

Aspal Wearing Course (AC-WC) merupakan aspal wearing dengan gradasi senjang dan agregat yang lolos di saringan No.16.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar yang tahan terhadap saringan 4,75 mm harus terdiri dari potongan batu atau partikel batu yang keras dan tahan lama. Bahan yang rusak karena basah dan kering tidak boleh digunakan.

b. Agregat Halus

Agregat halus yang ditahan pada saringan 2,36 mm harus terdiri dari partikel halus yang memenuhi syarat, seperti pasir alam atau batu pecah halus.

c. Sifat Bahan yang Disyaratkan

Setelah pemadatan, agregat harus bebas dari bahan organik, gumpalan tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan. Selain itu, setelah dibersihkan dengan saringan basah, agregat harus memenuhi persyaratan anyaman seperti yang ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.4. Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Course

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1½"	37,5	100	88 - 95	100	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 5

Tabel 2.5. Sifat-sifat Agregat Lapis Drainase untuk *Wearing Course*

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_u = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga

d. Pencampuran bahan

Mencampur bahan untuk memenuhi persyaratan dapat dilakukan di lokasi pemecah batu biasa (*stone crusher*). Ini dilakukan dengan menggunakan dispenser mekanis yang dikalibrasi untuk memastikan aliran bahan yang konstan dan dicampur dalam proporsi yang tepat. Tidak ada bahan yang diizinkan untuk berintegrasi di lapangan.

2.15 Lapisan Pengikat

Lapisan pengikat terdiri dari persiapan bahan aspal dan penempatannya di atas permukaan yang telah disiapkan. Lapisan perekat diletakkan di atas permukaan pondasi tanpa membuat lapisan dasar sintetis terikat.

a. Cuaca yang diijinkan untuk bekerja

Lapisan perekat tidak boleh digunakan saat angin kuat, hujan, atau akan hujan. Hanya permukaan yang bersih dan kering yang boleh digunakan.

b. Kesiapan Pekerjaan

Kesiapan pekerjaan lapis pengikat meliputi beberapa aspek sebagai berikut:

- Dalam buku ini, sampel lima liter dari setiap materi disediakan bersama dengan sertifikat pabrikan dan hasil uji yang diperlukan.
- Catatan tentang kalibrasi instrumen, pengukur, dan batang pengukur plunger distributor aspal. Alat, pengukur, dan instrumen harus dikalibrasi untuk memastikan bahwa mereka tepat dan memenuhi toleransi akurasi yang ditetapkan. Tanggal kalibrasi tidak boleh melebihi tanggal tersebut.

- Laporan harian tentang pekerjaan dilakukan dan material harus sesuai spek.

2.16 Validitas

"Validitas" berasal dari kata "validitas", yang mengacu pada tingkat kemampuan alat ukur untuk melakukan pengukuran dengan benar. Validitas penelitian menunjukkan ketepatan ukuran penelitian dibandingkan dengan informasi yang diukur secara nyata. Tes validasi menunjukkan kemampuan alat ukur untuk mengukur apa yang diukur. Sisi lain dari gagasan ini memengaruhi akurasi pengukuran.

Alat ukur yang sah tidak hanya memiliki ketelitian yang tinggi, tetapi juga beroperasi dengan baik. Dalam situasi seperti ini, presisi mengacu pada kemampuan untuk menemukan perbedaan kecil dalam karakteristik yang diukur. Menurut SNI 19-17025-2000, autentikasi juga dapat didefinisikan sebagai validasi suatu metode dengan menguji dan mengumpulkan bukti yang memenuhi persyaratan tertentu yang dihadapi. Validitas perlu dilakukan laboratorium terhadap:

- a. Metode non standar
- b. Metode yang dikembangkan sendiri
- c. Metode standar yang digunakan diluar ruang lingkup yang dimaksud
- d. Metode standar modifikasi
- e. Metode standar untuk mengkonfirmasi

Bahwa metode ini mungkin bermanfaat. Oleh karena itu, selain membutuhkan perhatian khusus terhadap perangkat dan benda uji untuk mencapai hasil pengujian yang memuaskan, perangkat lunak juga diperlukan untuk digunakan. Perangkat lunak diperlukan untuk memvalidasi pengalaman murni yang penuh dengan kemungkinan kesalahan dari alat, bahan, dan peserta tes. Dengan kata lain, hasil pencarian tingkat akurasi dan keakuratan yang diketahui (sekurang-kurangnya nilai komparatif dari grafik uji di atas penelitian sebelumnya) harus divalidasi dengan program.

2.17 Sifat-Sifat Campuran Aspal

a. Stabilitas

Stabilitas aspal sangat penting untuk menahan deformasi dan peleburan plastis yang disebabkan oleh faktor dinamis dan statis, serta untuk mencegah bekas roda

serata dari perubahan permukaan perkerasan jalan. Jumlah lalu lintas yang diantisipasi dan beban kendaraan pada rute akan menentukan persyaratan stabilitas perkerasan. Stabilitas disebabkan oleh gesekan antar butir, stabilitas antar partikel, dan kepatuhanyang yang lebih besar terhadap aspal. nilai stabilitas dalam KN atau kilogram.

b. Kepadatan komposisi (*Flow*)

Ketika campuran aspal dibebani melewati batas keruntuhannya, yang diukur dalam milimeter atau inci, terjadi situasi yang dikenal sebagai kelelahan, atau aliran. Jika nilai aliran tinggi karena kadar aspal yang tinggi, campuran akan terlihat lentur, tetapi jika nilai aliran rendah, campuran akan terlihat kaku.

c. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient, yang diukur dalam kilogram per milimeter, adalah hasil dari pertimbangan seberapa kuat plastik dan seberapa mudah pecah. Campuran dengan indeks *Marshall* tinggi menunjukkan stabilitas yang tinggi dan tingkat leleh plastik yang rendah saat berada di bawah tekanan lalu lintas. Kekakuan ini meningkatkan risiko retak perkerasan. Sebaliknya, MQ rendah lebih plastis dan tidak stabil karena plastisitas tinggi dan stabilitas rendah.

2.18 Laston Lapis Aus

Laston adalah lapisan penutup yang penting secara struktural saat membangun jalan beraspal. Lapisan Laston adalah gradasi menerus aspal keras dan kerikil yang digunakan dalam konstruksi jalan; campuran ini dibuat dengan menggabungkan, menyebarkan, dan memadatkan agregat bergradasi terus menerus pada suhu tertentu. Ini dicampur, didistribusikan, dan dipadatkan pada suhu yang ditetapkan.

2.19 Peneliti terdahulu

Penelitian ini dibuat berdasarkan referensi peneliti peneliti terdahulu yang sudah meneliti tentang aspal AC-WC agar mendapatkan acuan dan tahapan yang dilakukan sesuai dengan standar yang sudah ditentukan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Tabel 2.6 Peneliti terdahulu

No.	Nama penulis	Judul penelitian	Variabel penelitian	Hasil penelitian
1.	Jane Smith (2018)	<i>Effectiveness of Sea Sand-Asbuton Mixtures in Road Pavements</i>	<i>Sea Sand-Asbuton, Road Pavements</i>	Stabilitas yang ditingkatkan di bawah beban lalu

No.	Nama penulis	Judul penelitian	Variabel penelitian	Hasil penelitian
				lintas berat
2.	John Doe (2020)	<i>Utilization of Sea Sand and Asbuton in Asphalt Mixtures</i>	<i>Sea Sand and Asbuton, Asphalt Mixtures</i>	Meningkatkan durabilitas dan resistensi terhadap deformasi
3.	Sri Maulin Novianti (2020)	Pengaruh Perendaman Air Laut Terhadap Stabilitas Campuran Ac-Wc Menggunakan Agregat Koya Kota Jayapura	AC-WC, Air laut, Nilai Marshall	Hasil nilai marshall ya itu pada stabilitas semua kadar aspal memenuhi spesifikasi sedangkan untuk flow hanya pada kadar aspal 5,5% dan 6% baik itu dengan perendaman dan tanpa perendaman
4.	Afif Padli Febrian (2020)	Penggunaan Pasir di Desa Kutai Donok sebagai Bahan Agregat Halus pada Hotmix AC-WC	Asphalt, Marshall, Pasir, Filler	Hasil dari penggunaan pasir desa kutai donok itu bisa digunakan berdasarkan nilai karakteristik marshall tes menunjukkan bahwa pasir dalam campuran beton aspal menghasilkan lapisan AC-WC yang bersifat stabil
5.	Laurentio Kurniawan P. (2022)	PENGARUH PENAMBAHAN SABUT KELAPA SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN ASPAL MINYAK SEBAGAI PENGIKAT	KAO, Marshall, Filler, Sabut Kelapa	Menggunakan Sabut Kelapa sebagai bahan tambah Filler dengan variasi nilai rata-rata 0%=2,21 dan 5%=4,56 dan 10%2,37 memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan ya itu dengan nilai kehilangan berat maksimal 20%.
6.	Juny Andry Sulistyio (2023)	Perilaku aspal <i>Wearing course</i> Terhadap Pengaruh Rendaman air Pasang (rob) Dengan bahan Tambah <i>Polyethylene</i> dan <i>Fine aggregate slag</i>	<i>Wearing course</i> , Rendaman air Pasang (rob), <i>Polyethylene</i> , <i>Fine aggregate slag</i> .	kadar Agregat Slag 0% dan 100% dengan LDPE 0%, 2%, 4%, 8%, 10% dan 18 % tidak dapat digunakan sebagai perkerasan

No.	Nama penulis	Judul penelitian	Variabel penelitian	Hasil penelitian
				jalan karena tidak memenuhi persyaratan spesifikasi teknis Bina Marga karena nilai <i>Void in Mineral</i> (VIM) kurang dari 3% - 5%.
7.	Aqilah attamimi (2023)	Analisa Nilai KAO dengan Metode Narrow Range pada Campuran Asphalt concrete – Wearing Course menggunakan Pasir Laut	KAO, Narrow Range, Pasir Laut, Aspal	Hasil penelitian dari Marshall seperti nilai stabilitas, VMA, density, MQ pada kadar aspal 5,0%-7,0%, memenuhi spesifikasi yaitu 1932 kg, 19,84%, 2,26 gr/cm ³ dan 1031 kg/mm
8.	M Diky Maulana (2023)	ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH ARANG KAYU SEBAGAI BAHAN TAMBAH FILLER PADA PERKERASAN ASPAL (AC-WC)	KAO, Marshall, Filler Arang kayu	Serbuk arang pada pencampuran lapisan beton aspal dapat meningkatkan kinerja stabilitas, kelelahan plastis dan durabilitas pada kadar arang 1,5% dengan kondisi kadar aspal optimum 6,25%
9.	Teuku Syahrendi (2023)	KETAHANAN ASPAL AC-WC (ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE) TERHADAP RENDAMAN AIR	Wearing course, rendaman air, air PAM	stabilitas pada rendaman 168 jam mengalami penurunan sampai melewati batas syarat yaitu senilai 794.1 kg. Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 untuk nilai batas stabilitas minimum 800 kg.
10.	Ibnu Bagus Wicaksono (2024)	ANALISIS ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH ASBUTON DAN PASIR LAUT	AC-WC, Asbuton Granular, Pasir laut	Hasil penelitian mendapatkan nilai <i>Job Mix Design</i> terbaik terdapat pada terdapat pada komposisi Asbuton 0% +

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tipe penelitian

Terdapat beberapa item dalam penelitian yang dilakukan yaitu salah satunya dengan metode eksperimen, metode eksperimen adalah strategi penelitian yang digunakan untuk memastikan, dalam keadaan terkendali, dampak dari satu perlakuan terhadap perlakuan lainnya (Jaya et al., 2019). Menurut definisi yang diberikan oleh beberapa ahli tersebut, penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap subjek penelitian.

Penelitian yang dilakukan ini merupakan penelitian yang menggunakan metodologi data primer karena dilakukan secara eksperimen untuk mendapatkan hasil dari benda uji yang paling tepat untuk selanjutnya dilakukan penelitian, karena data diperoleh secara langsung. Dalam penelitian ini digunakan *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai pedoman dalam proses pembuatannya.

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

a. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi:

- Agregat kasar, halus, dan abu batu diperoleh dari AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT Semarang Multicon.
- Menggunakan bahan Aspal Polimer Pen 60/70.
- Pasir laut adalah bahan yang akan digunakan sebagai campuran dengan kadar variasi 0%, 2%, 4%, 6%
- Arang kayu lolos saringan no.100 dengan variasi kadar 0%, 2%, 4%, 6%.

b. Peralatan Penelitian

- Alat penguji agregat dan *filler*

Diantara peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat termasuk mesin

Los Angeles (untuk uji abrasi) oven (untuk pengering), timbangan, penguji berat jenis (piknometer, timbangan, dan pemanas).

- Alat penguji aspal

Peralatan untuk pengujian aspal meliputi; alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, alat uji kelarutan, dan alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan).

- Alat penguji campuran metode *Marshall*

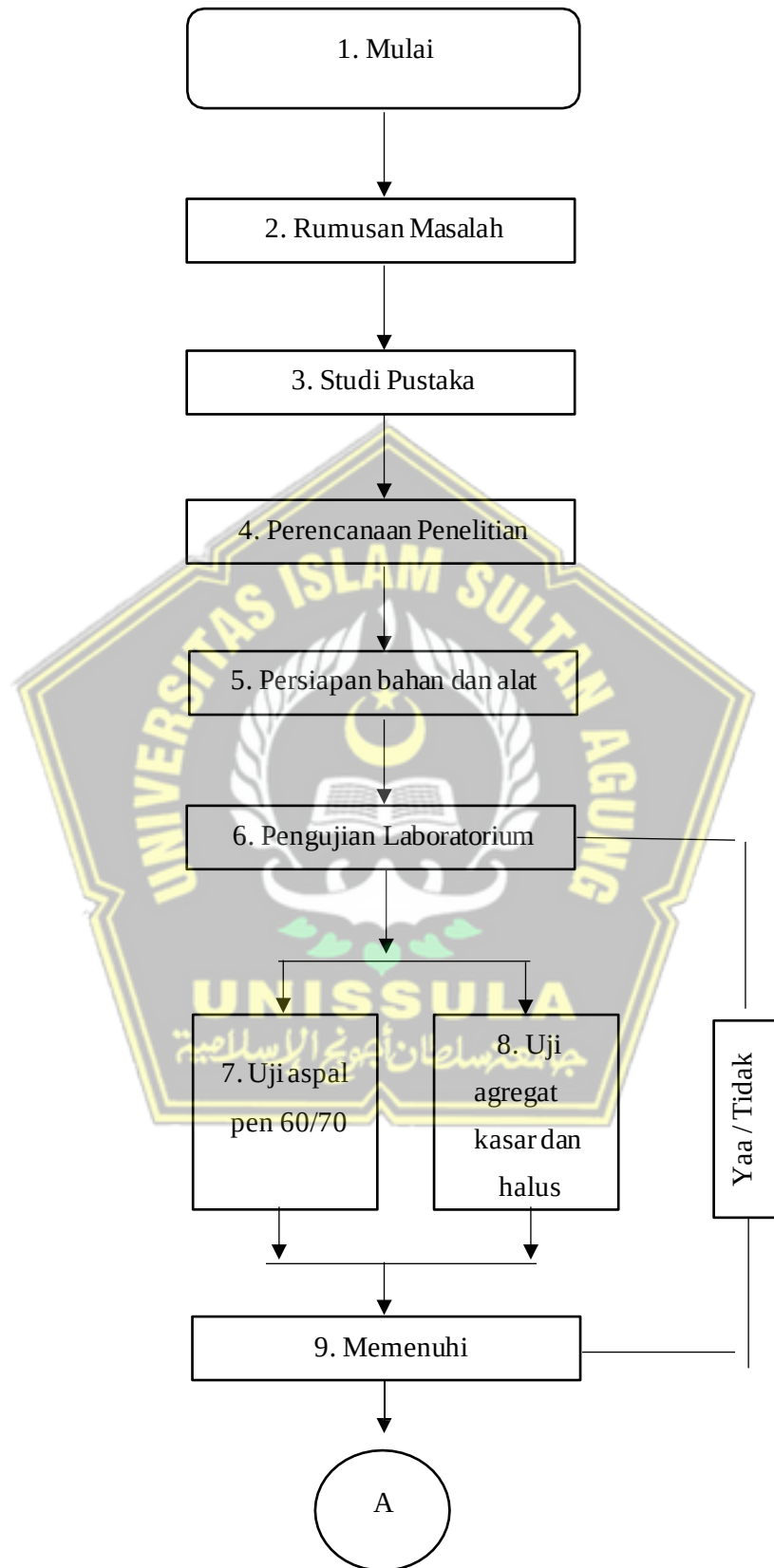
Seperangkat alat metode *Marshall* digunakan sebagai alat uji, yang meliputi:

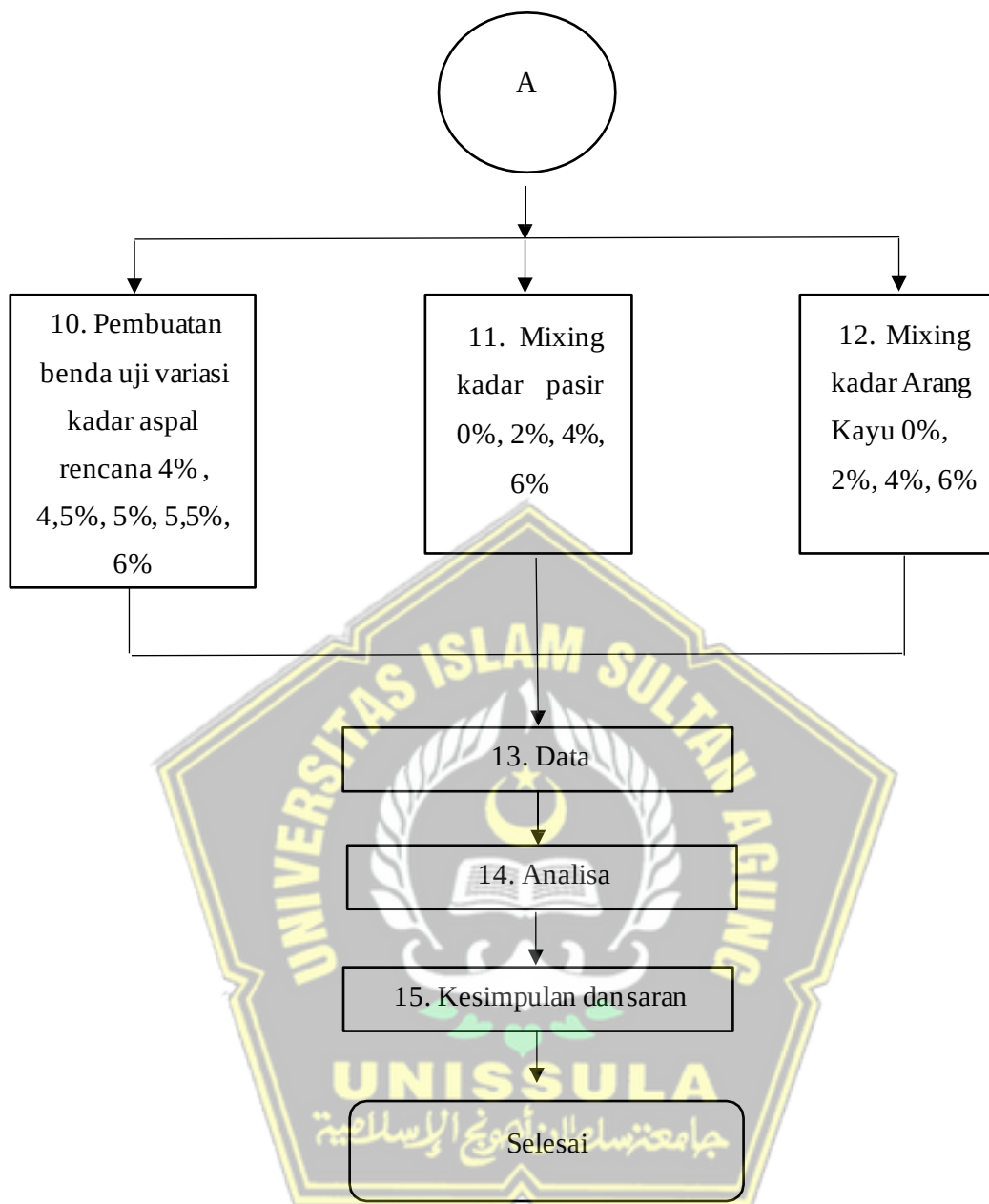
1. Alat tekan *Marshall* terdiri dari kepala penekan dengan bentuk lengkung, cincin penguji yang berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) dan dilengkapi dengan arloji pengukur kerekatan (*flowmeter*).
2. Alat cetak benda uji silinder dengan diameter 10,2 cm (4 inci) serta tinggi 7,5cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
3. Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
4. *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
5. Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaus tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alur penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan selama penelitian ini dijelaskan pada:

Gambar 3.1 Bagian alur penelitian





3.4 Prosedur Perencanaan Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahap, dari awal sampai akhir dalam secara sistematis.

a. Persiapan

Langkah pertama adalah melakukan studi pustaka dan menyiapkan peralatan dan perlengkapan. Bahan yang digunakan dalam campuran aspal diperiksa untuk memastikan memenuhi standar sehingga penelitian berjalan lancar.

b. Pemeriksaan campuran material aspal

Semua pengujian mengikuti standar pengujian yang ditetapkan oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi hal-hal berikut:

- 1) Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008)
- 2) Tingkat Keausan atau Abrasi Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- 3) Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- 4) Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- 5) *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI 3407:2008).
- 6) Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:).
- 7) Kadar Lumpur/ *Sand Equivalent Test* (berdasarkan SNI 3423 : 2008).
- 8) Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).
- 9) Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal Pen 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:
 - Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
 - Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
 - Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).
 - Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal (berdasarkan SNI 06-2240-1991).
 - Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida/ CCl_4 (berdasarkan ASTM D5546).
 - Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).
 - Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).
 - Penetrasi setelah RTFOT (berdasarkan SNI 06-2456-1991).

Sampel uji dibuat setelah komposisi campuran aspal telah ditetapkan.

Pada temperatur saat ini, aspal memiliki viskositas kinematik 170 sampai 20 centistok ketika dicampur dengan agregat, dan pada saat pemadatan, aspal memiliki viskositas kinematik 280 sampai 30 centistok. Karena tidak dilakukan pengujian viskositas kinematik aspal, dan suhu pencampuran biasanya ditentukan antara 145-155°C, dan suhu pemadatan antara 110-135°C.

c. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

1) Pembuatan benda uji

Tahapan pembuatan benda uji sebagai berikut :

- Menimbang agregat sesuai dengan persentase yang dihitung, kemudian membuat dua benda uji untuk setiap variasi kadar aspal.
- Memanaskan aspal untuk proses pencampuran dan mencampur agregat, aspal, dan limbah dengan menggunakan pemanas dan diaduk hingga merata.
- Pastikan bahwa suhu campuran mencapai 140°C sebelum ditempatkan dalam cetakan yang telah dibersihkan dan dipanaskan hingga suhu antara (93,3°C – 148,9°C) dan diolesi dengan vaselin / oli / pelumas.
- Sebelum melakukan pemadatan, dilakukan proses rojokan 15 kali pada bagian tepi cetakan dan 10 kali pada bagian dalam, lalu dilakukan pemadatan dengan scrap dan diletakkan di atas landasan pematat. Setelah itu dilakukan pemadatan dengan menggunakan alat penumbuk sebanyak 75 kali pada bagian atas dan 75 kali pada bagian bawah cetakan dengan tinggi jatuh sebesar 45 cm.
- Setelah proses pemadatan selesai, benda uji diambil menggunakan alat pengeluar dan diberi tanda atau label. Kemudian benda uji diletakkan di atas permukaan yang rata dan mulus dan dibiarkan selama ± 24 jam pada suhu kamar.

2) Pengujian benda uji

Tahapan pengujian benda uji sebagai berikut :

- Pastikan bahwa benda uji dalam keadaan bersih dari kotoran yang menempel. Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm menggunakan jangka sorong dan hitung beratnya untuk mendapatkan

berat benda uji yang dalam keadaan kering.

- Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama ± 24 jam untuk memastikan benda uji jenuh.
- Timbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan keringkan hingga permukaan kering. Timbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD).

d. Proses Pengujian benda uji menggunakan alat Marshall Test meliputi beberapa tahap yaitu :

- 1) Menyimpan benda uji dalam bak perendam pada suhu sekitar 60°C selama 30 menit
- 2) Membersihkan bagian dalam permukaan kepala penekan dan melumasi agar benda uji dapat dilepaskan setelah pengujian.
- 3) Menempatkan cetakan stabilitas dan *dial flow* pada mesin tekan, kemudian meletakkan benda uji yang telah direndam pada cetakan stabilitas dan menyetel dial pada angka nol.
- 4) Menyesuaikan posisi piston agar berada pada poros cetakan stabilitas.
- 5) Melakukan pembebanan dengan cara menekan tombol UP, kemudian menghentikan tekanan dengan tombol *OFF* setelah mencapai kelelahan maksimum. Mencatat nilai kelelahan maksimum yang didapat.
- 6) Mencatat nilai pembebanan pada proving ring.
- 7) Setelah pengujian selesai, menurunkan pembebanan dengan menekan tombol *Down*, mengeluarkan benda uji, dan membuka bagian atas cetakan.

e. Menghitung Parameter *Marshall*

Setelah pengujian *Marshall* selesai dan nilai stabilitas dan *flow* diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung parameter *Marshall* yaitu VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*.

f. Pengolahan dan Pembahasan Hasil

Setelah hasil penelitian di laboratorium dikumpulkan, perbandingkan nilai stabilitas dan karakteristik campuran dari variasi kadar aspal dan perlakuan

terhadap limbahserta hasil pengolahan. Kemudian, tampilkan hasil tersebut dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient* (MQ).

Menggunakan *Marshall Compaction Hammer*, dengan tumbukan sebanyak 2x75 kali untuk mengatasi lalu lintas yang berlebihan. Spesimen kemudian dikeringkan, disimpan pada suhu ruang selama 24 jam, dan dicatat tinggi dan beratnya. Spesimen kemudian direndam dalam air selama 24 jam dan ditimbang basah dan kering untuk mendapatkan data volumetrik aspal (densitas, VIM, VMA, dan VFA).

Sampel kemudian dianalisis dengan alat *Marshall* untuk menghasilkan data empiris setelah direndam dalam air yang dipanaskan hingga 60°C selama 30 menit (stabilitas, kelelahan dan *Marshall Quotient*). Komposisi campuran aspal yang sesuai ditentukan dengan menganalisis statistik *Marshall*, meliputi: stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*. Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% masing-masing menggunakan 3 sampel, penjelasan rinci pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Perhitungan jumlah sampel penentuan kadar aspal optimum

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
4%	3
4,5%	3
5%	3
5,5%	3
6%	3
Total	15 sampel benda uji

Hasil dari perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum yang didapatkan berada di angka 5,8%. Maka kadar aspal optimum dengan angka 5,8% dapat digunakan dalam proses benda uji.

Tabel 3.2 Jumlah benda uji untuk variasi PP dan Arang kayu

Jumlah Benda Uji untuk Variasi PP dan Arang Kayu		
(Kadar pasir laut 0%, 2%, 4%, 6%)	(Arang Kayu 0%, 2%, 4%, 6%)	Jumlah Benda Uji
Kadar 0%	Kadar 0%	3
Kadar 2%	Kadar 0%	3
Kadar 4%	Kadar 0%	3
Kadar 6%	Kadar 0%	3
Kadar 0%	Kadar 2%	3
Kadar 2%	Kadar 2%	3
Kadar 4%	Kadar 2%	3
Kadar 6%	Kadar 2%	3
Kadar 0%	Kadar 4%	3
Kadar 2%	Kadar 4%	3
Kadar 4%	Kadar 4%	3
Kadar 6%	Kadar 4%	3
Kadar 0%	Kadar 6%	3
Kadar 2%	Kadar 6%	3
Kadar 4%	Kadar 6%	3
Kadar 6%	Kadar 6%	3
TOTAL		48

Rancangan campuran aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (arang kayu 0% dan Pasir laut 0%)

Tabel 3.3 Variasi dan campuran komposisi aspal

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	<i>Medium Agregat</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Agregat</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
JUMLAH SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 0% dan pasir laut 2%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		0%	0 g
Pasir Laut		2%	1,392 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 0% dan pasir laut 4%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		0%	0 g
Pasir Laut		4%	2,748 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 0% dan pasir laut 6%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		0%	0 g
Pasir Laut		6%	4,176 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 2% dan pasir laut 0%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		2%	1,392 g
Pasir Laut		0%	0 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 2% dan pasir laut 2%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		2%	1,392 g
Pasir Laut		2%	1,392 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 2% dan pasir laut 4%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		2%	1,392 g
Pasir Laut		4%	2,748 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 2% dan pasir laut 6%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		2%	1,392 g
Pasir Laut		6%	4,176 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 4% dan pasir laut 0%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		4%	2,748 g
Pasir Laut		0%	0 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 4% dan pasir laut 2%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		4%	2,748 g
Pasir Laut		2%	1,392 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 4% dan pasir laut 4%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		4%	2,748 g
Pasir Laut		4%	2,748 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 4% dan pasir laut 6%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		4%	2,748 g
Pasir Laut		6%	4,176 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 6% dan pasir laut 0%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		6%	4,176 g
Pasir Laut		0%	0 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 6% dan pasir laut 2%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		6%	4,176 g
Pasir Laut		2%	1,392 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 6% dan pasir laut 4%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		6%	4,176 g
Pasir Laut		4%	2,748 g
TOTAL SAMPEL		3	

Rancangan campuran aspal (*Job mix design*) dengan kadar (arang kayu 6% dan pasir laut 6%)

No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Total		100%	1200 g
Bahan tambahan :			
Arang kayu		6%	4,176 g
Pasir Laut		6%	4,176 g
TOTAL SAMPEL			3

Tabel 3.4 Komposisi dan nama jenis bahan uji

BU 1 (Arang kayu 0%)			
No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Bahan tambahan :			
- (Pasir laut 0%)			0 g
P1 (Pasir laut 2%)			1,392 g
P2 (Pasir laut 4%)			2,748 g
P3 (Pasir laut 6%)			4,176 g
TOTAL SAMPEL		12	

BU 2 (Arang kayu 2%)			
No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Bahan tambahan :			
- (Pasir laut 0%)			0 g
P1 (Pasir laut 2%)			1,392 g
P2 (Pasir laut 4%)			2,748 g
P3 (Pasir laut 6%)			4,176 g
TOTAL SAMPEL		12	

BU 3 (Arang kayu 4%)			
No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Bahan tambahan :			
- (Pasir laut 0%)			0 g
P1 (Pasir laut 2%)			1,392 g
P2 (Pasir laut 4%)			2,748 g
P3 (Pasir laut 6%)			4,176 g
TOTAL SAMPEL		12	

BU 4 (Arang kayu 6%)			
No.	Komposisi	Persentase	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14,4 g
6	Aspal	5,80%	69,6 g
Bahan tambahan :			
- (Pasir laut 0%)			0 g
P1 (Pasir laut 2%)			1,392 g
P2 (Pasir laut 4%)			2,748 g
P3 (Pasir laut 6%)			4,176 g
TOTAL SAMPEL		12	

3.5 Metode Analisis

Proses penelitian agregat untuk penelitian ini dilakukan dalam 8 (delapan) langkah sebagai berikut dengan menggunakan metodologi eksperimen di Laboratorium Material Perkerasan :

a. Tahap I

Persiapan berikut adalah beberapa tindakan yang diambil sebelum penelitian ini:

- Menyiapkan bahan material seperti agregat, aspal.
- Menyiapkan peralatan yang digunakan.
- Menyiapkan form pengujian serta mengolah data hasil pengujian

b. Tahap II

Pemeriksaan bahan, pemeriksaan agregat yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus
- Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus.
- Pemeriksaan berat jenis aspal.
- Pemeriksaan penetrasi
- Pemeriksaan titik lembek.
- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar

- Pemeriksaan daktilitas

c. Tahap III

- Perancangan agregat menggunakan agregat batu belah dan asbuton granular dengan kombinasi agregat.
- Perancangan campuran pada tahap ini kadar aspal optimum ditentukan dengan (Mix Design) dan pembuatan benda uji dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%.

d. Tahap IV

Dengan menggunakan tes Marshall untuk menemukan jumlah aspal ideal (KAO). Pada tahap ini, benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi menjalani uji Marshall untuk mengumpulkan data stabilitas dan aliran. Spesimen ditimbang dengan tiga cara berbeda sebelum ini: berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air.

e. Tahap V

Tes perendaman standar Marshall melibatkan perendaman spesimen selama 30 menit dan 24 jam dalam wadah berisi air yang disimpan pada suhu konstan 60°C. Dilakukan di KAO untuk melihat bagaimana daya tahan dan sifat Marshall dipengaruhi oleh perendaman.

f. Tahap VI

Dilakukan Pengujian dan analisis Marshall untuk mengetahui stabilitas Marshall, *flow* (keeraan), rongga dalam campuran dan rongga dalam mineral serta stabilitas Marshall sisa.

g. Tahap VII

Pembuatan dan perendaman benda uji pada KAO untuk analisa pengaruh rendaman terhadap durabilitas dan *properties*.

h. Tahap VIII

Kesimpulan dan rekomendasi dari seluruh rangkaian percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dibuat setelah mengumpulkan dan menganalisis semua data yang terkumpul dari kelengkapan campuran agregat, aspal dan aspal beton.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan material

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan penelitian, penentuan kadar aspal, pembuatan benda uji, dan pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan antara lain Arang Kayu yang di ambil dari Pedurungan, Semarang dan Pasir laut dari Pantai Marina, Semarang. Semua proses pembuatan benda uji dan propertis material, pengujian pada aspal dan pengujian marshall pada benda uji yang dilakukan di laboratorium transportasi jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4.1 Persiapan bahan arang kayu sebagai bahan tambah
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Arang kayu digunakan setelah dilakukan perlakuan khusus seperti ditumbuk sampai halus kemudian disaring menggunakan saringan 100.



Gambar 4.2 Persiapan bahan Pasir laut sebagai bahan tambah
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pasir laut yang digunakan adalah pasir laut yang sudah dijemur hingga kering selama setengah hari dan lolos saringan 50.

4.2 Pengujian laboratorium

a. Hasil pengujian aspal polimer (Pertamina 60-70)

Hasil Pemeriksaan Aspal Polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal Polimer Pen 60-70 (Pertamina). Pengujian yang dilakukan untuk aspal polimer ini adalah 7 parameter yaitu penetrasi, titik nyala, titik lembek, kelarutan dalam ccl₄, daktilitas, penetrasi kehilangan berat dan viskositas. Parameter tersebut dapat mewakili karakteristik utama dari aspal polimer untuk diaplikasikan sebagai campuran untuk perkerasan lentur. Hasil Pengujian Aspal dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/ 1976.

Tabel 4.1 Pengujian aspal pen 60-70 (Pertamina)

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal PEN 60-70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi
			Min	Max		
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	80	67,4	SNI-06-2456-1991
2	Titik Lembek 5°C (Ring and Ball Test)	°C	48	-	56,65	SNI-06-2434-1991
3	Titik Nyala (Cleaveland Open Cup)	°C	200	-	351,5	SNI-06-2433-1991
4	Berat Jenis	%	1	-	1,034	SNI-06-2438-1991
5	Daktilitas	Cm	100	-	>150	SNI-06-2432-1991
6	Penetrasi setelah Kehilangan Berat	%	54	-	61,90	SNI-06-2440-1991

Pada Suhu pencampuran aspal polimer, kemampuan pengaduk untuk digunakan, dan jumlah waktu yang diperlukan untuk pencampuran, semuanya berperan dalam proses tersebut. Dalam penelitiannya yang bertajuk Evaluasi dan Optimasi Sifat Rekayasa: Polimer Modified Asphalt, J.S. Chen, MC Liao, dan H.H. Tsai (2012) melaporkan bahwa proses pencampuran aspal polimer berlangsung antara dua hingga tiga jam, bergantung pada kapasitas pengaduk 2000 rpm dan kisaran suhu 150°C hingga 170°C.

b. Hasil pengujian agregat I

Pengujian Agregat menampilkan hasil pengujian agregat berdasarkan perbandingan Jalan Raya dengan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976.

Tabel 4.2 Hasil penelitian sifat fisik dan mekanis agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat kasar				
1	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	15.61%	Meenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal Pen 60/70	SNI 03-2439-2011	Min. 95%	97.23%	Meenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	7.21%	Meenuhi
4	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,72%	Meenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar 1/2 b. Agregat kasar 3/8	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.723% 2.651%	Meenuhi
6	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5%	2.812% 2.794%	Meenuhi
B	Agregat halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	10.48%	Meenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	49.92%	Meenuhi

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.741% 2.631%	Me memenuhi
4	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5	2.924% 2.861%	Me memenuhi

Material memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, dimana seluruh hasil pengujian material agregat berasal dari penghancuran batu *Stone Crusher* dari *Asphalt mixing plant* (AMP).

c. Hasil pengujian agregat II

Pengujian II terdiri dari material *Coarse Agregat* atau agregat kasar yang dapat lolos saringan $1\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ dan tertahan mulai dari saringan $\frac{1}{2}$ sampai dengan saringan #200.

Tabel 4.3 Hasil analisis pembagian butiran agregat II (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata-rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	Gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	1.573,3	15,39	84,61	84,60	1.556,3	15,41	84,59
1/2"	12,5	7.582,7	74,19	25,81	29,59	6.730,5	66,64	33,36
3/8"	9,5	10.060,1	98,44	1,56	1,77	9.899,7	98,02	1,98
# 4	4,75	10.171,8	99,53	0,47	0,48	10.051,6	99,52	0,48
# 8	2,36	10.177,9	99,59	0,41	0,42	10.056,2	99,57	0,43
# 16	1,15	10.182,5	99,63	0,37	0,38	10.061,7	99,62	0,38
# 30	0,6	10.186,3	99,67	0,33	0,32	10.068,4	99,69	0,31
# 50	0,3	10.190,6	99,71	0,29	0,28	10.073,6	99,74	0,26
#100	0,15	10.194,3	99,75	0,25	0,24	10.077,1	99,77	0,23
# 200	0,075	10.196,8	99,77	0,23	0,21	10.080,4	99,81	0,19
Berat Contoh		10.220				10.100		

Berasarkan analisa pada saringan agregat kasar Pengujian II sebanyak 84,61% agregat melewati saringan 3/4" dan 74,19% tertahan pada saringan 1/2" atau 9,52mm, menurut pemeriksaan filter agregat kasar Pengujian II. Sementara itu, sebesar 25% dari hasil semua sampel agregat saringan sedang lolos saringan 3/8" dan tertahan pada saringan No. 4, atau 4,75 mm kali 1,5, untuk saringan agregat sedang.

d. Hasil pengujian agregat III

Pengujian III terdiri dari material Medium Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan 1½-½ dan tertahan mulai dari saringan 3/8 sampai dengan saringan #200.

Tabel 4.4 Hasil Analisa pembagian butiran agregat III (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	Gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	557,4	20,27	79,73	79,61	540	20,52	79,48
# 4	4,75	1.653,5	60,13	39,87	39,07	1.624	61,73	38,27
# 8	2,36	2.513,8	91,41	8,59	8,88	2.389	90,83	9,17
# 16	1,15	2.718,5	98,85	1,15	1,25	2.595	98,65	1,35
# 30	0,6	2.722,7	99,01	0,99	1,12	2.597	98,76	1,24
# 50	0,3	2.727,5	99,18	0,82	0,93	2.603	98,97	1,03
#100	0,15	2.730,3	99,28	0,72	0,75	2.609	99,22	0,78
# 200	0,075	2.733,5	99,40	0,60	0,62	2.614	99,37	0,63
Berat Contoh		2.750				2.630		

Berdasarkan analisa pada saringan agregat kasar Pengujian III sebanyak 100% 79,73% agregat yang lolos saringan dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm tertahan, menurut analisis yang dilakukan pada saringan agregat kasar Pengujian III. Sebaliknya, mengenai sebaran agregat sedang, 79,48% agregat

agregat yang lolos saringan 3/8" dan tertahan hingga 38,27% pada saringan No. 4 atau 4,76 mm.

e. Hasil pengujian agregat IV

Pengujian IV merupakan material Agregat Halus dapat lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8. Hasil Pengujian ini dilakukan langsung sesuai dengan langkah-langkah yang ditentukan.

Tabel 4.5 Hasil Analisa pembagian butiran (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%
11/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,36	102,4	19,43	80,57	80,04	108,7	20,49	79,51
# 16	1,15	240,5	45,63	54,37	53,77	248,5	46,83	53,17
# 30	0,6	336,6	63,86	36,14	35,71	343,4	64,72	35,28
# 50	0,3	420,0	79,68	20,32	21,12	414,3	78,08	21,92
#100	0,15	445,3	84,48	15,52	15,07	453,1	85,39	14,61
# 200	0,075	495,6	94,02	5,98	6,05	498,2	93,89	6,11
Berat Contoh		527,1				530,6		

Berdasarkan studi saringan, agregat yang lolos saringan ½" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm 100% agregat kasar di Pengujian IV. Dari segi sebaran agregat sedang, agregat yang lolos saringan No. 4" dan tertahan pada saringan No. 8 atau 1,15 mm sebanyak-banyaknya 80,04% merupakan 100% dari total sampel saringan sedang. Setiap saringan diisi dengan agregat halus di dalamnya.

f. Hasil pengujian pasir

Pasir merupakan material Agregat Halus yang lolos saringan 1% #30 dan tertakan mulai dari saringan #50. Dari hasil pengujian pasir ini dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan

Tabel 4.6 Hasil Analisa pembagian butiran pasir (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	Gr	%	%		gr	%	%
11/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,36	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 16	1,15	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 30	0,6	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 50	0,3	420,0	79,68	20,32	21,12	414,3	78,08	21,92
#100	0,15	445,3	84,48	15,52	15,07	453,1	85,39	14,61
# 200	0,075	495,6	94,02	5,98	6,05	498,2	93,89	6,11
Berat Contoh		500				500		

Untuk agregat halus pasir sebanyak 100% merupakan agregat yang lolos saringan No. 30" atau 0.6 mm dan tertahan pada saringan No.50" atau 0.3 mm sebanyak 20,32%. Dalam hal distribusi agregat sedang, agregat yang lolos saringan No. 30" dan tertahan pada saringan No. #50, atau 2,36 mm, merupakan 100% dari total sampel analisis saringan sedang. Ini dipisahkan ke dalam setiap saringan untuk agregat halus.

g. Hasil perhitungan kombinasi agregat

Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan dan tertahan mulai dari saringan ukuran sampai dengan # 200, yang terdiri dari Pengujian II,III,IV Pasir,dan Filler.

Tabel 4.7 Perhitungan kombinasi agregat (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Prosentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
# 200	5,06	4	9
# 100	9,13	6	15
# 50	13,71	9	22
# 30	17,67	14	30
# 16	26,02	21	40
# 8	40,00	33	53
# 4	61,52	53	69
3/8"	82,45	75	90
1/2"	90,51	87	100,0
3/4"	95,89	95	100,0
1"	100,00	100	100,0

Hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan.

persentase kombinasi agregat yang lolos filter no. 200 atau 200 mm sampai dalam 1' tidak diperbolehkan melewati atau di bawah batas bawah dan atas setiap agregat yang disaring. Tidak diperkenankan menggunakan agregat yang telah melampaui batas atas atau batas bawah sebagai bahan pengisi pada *Wearing Course* AC-WC.

4.3 Rekapitulasi hasil pemeriksaan pengujian laboratorium

Berdasarkan Hasil pemeriksaan pengujian laboratorium, dalam pemeriksaan campuran ini untuk Pengujian I mendapatkan hasil 0. karena kita menggunakan ukuran saringan 1 tapi pada pengujian ini dimulai dari Pengujian II yang menggunakan saringan sampai dengan filler.

Tabel 4.8 Pemeriksaan penujian laboratorium (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

URAIAN PEMERIKSAAN		HASIL	SPESIFIKASI	
I	KOMPOSISI CAMPURAN ASPAL			
	KADAR ASPAL			
	Pengujian I (Coarse Agregate 1 ½)	5.8%		
	Pengujian II (Coarse Agregate ½)	0.00%		
	Pengujian III (Medium Agregate 3/8)	25.00%		
	Pengujian IV (Abu Batu)	25.00%		
	Pasir	40.00%		
	Filler	3.00%		
		1,2%		
		100.0%		
		100.00%		
II	PEMBAGIAN BUTIRAN GABUNGAN			
	Saringan 1"	100	100	100
	Saringan ¾"	95.89	95	100
	Saringan ¾"	90.51	87	100
	Saringan ½"	82.45	75	90
	Saringan 3/8"	61.52	53	69
	Saringan No.4	40.00	33	53
	Saringan No.8	26.02	21	40
	Saringan No.16	17.67	14	30
	Saringan No.30	13.17	9	22
	Saringan No.50	9.13	6	15
	Saringan No.100	5.06	4	9
	Saringan No.200			

Sumber: Hasil penelitian

4.4 Pengujian Marshall

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix formula*, dan pembuatan benda uji sebanyak 60 buah aspal, selanjutnya seluruh benda uji ditimbang dalam keadaan masih kering, dilanjutkan benda uji ditimbang setelah melakukan perendaman selama 24 jam dan benda uji ditimbang kembali dalam keadaan SSD. Seluruh sample benda uji langsung dilakukan proses pengujian pada alat marshall untuk mendapatkan hasil bacaan stabilitas dan hasil bacaan *flow* (kelelehan) pada sample benda uji aspal. Maksud dalam pemeriksaan Marshall

test akan menghasilkan parameter Marshall, yaitu nilai KAO (Kadar Aspal Optimum).

Agar dapat memperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) terlebih dahulu didapatkan beberapa parameter. Parameter yang didapatkan yaitu adalah VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas ,flow (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

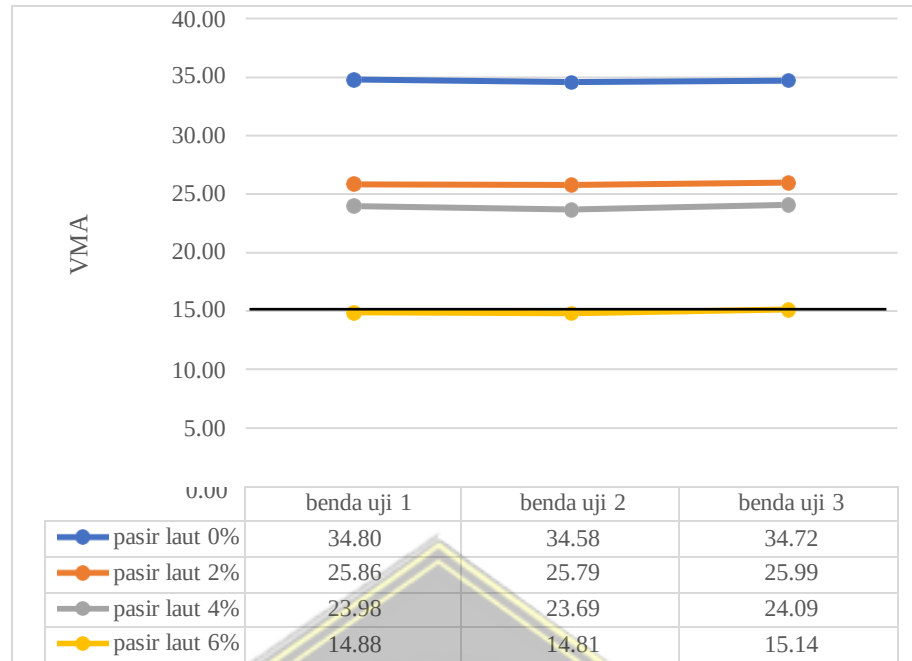
4.4.1 Hasil Marshall benda uji kombinasi Arang kayu 0% dengan persentase Pasir laut 0%, 2%, 4%, 6%.

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Arang kayu 0% dengan Pasir Laut kadar (0%, 2%, 4%, dan 6%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada **Tabel 4.9.**



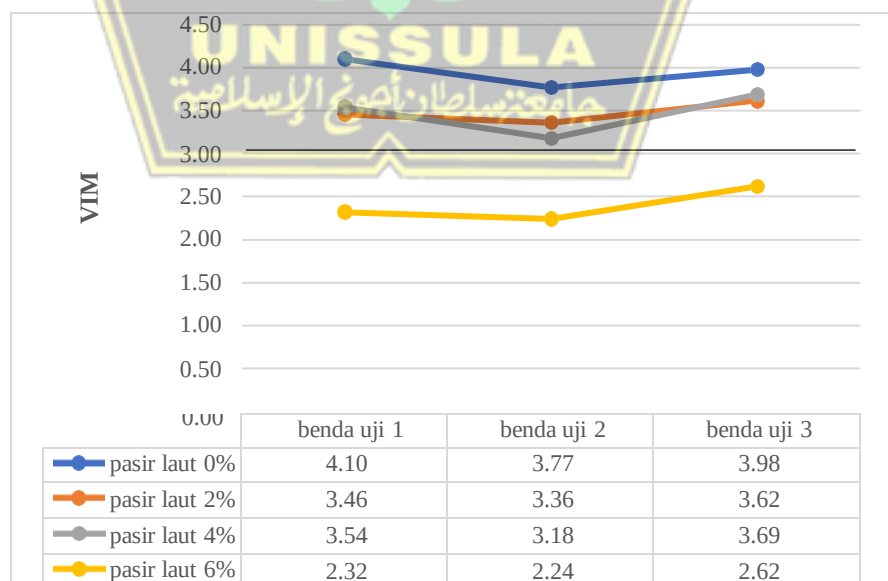
Tabel 4.9 Hasil marshall komposisi Arang kayu 0% dengan persentase pasir laut

BJ Aspal (T) :		1,034		BJ Efektif Total Agregat (Gse):		2,516		BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg	
No. Benda Uji	% Pasir laut	kadar aspal	berat di udara	Berat dlm air	berat ssd	volume/ Isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vfb)	stabilitas dibaca arloji		kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
	a	b	c	D	e	F	G	H	i	j	k	l	m	n	o
		% berat total campuran	data timbang	Data Timbang	data timbang	e – d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100*g) h	$\frac{100(i-j)}{i}$				m / n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
BU 1	0%	5,8	1147,2	553,6	1160,2	606,6	1,891	1,984	35,19	4,68	86,71	171	1678,71	2,60	645,66
BU 1	0%	5,8	1152,2	562,2	1169,4	607,2	1,898	1,984	34,98	4,36	87,54	180	1767,06	2,50	706,82
BU 1	0%	5,8	1152,2	560,2	1170,4	610,2	1,888	1,984	35,30	4,83	86,32	164	1609,99	2,70	596,29
Rata-rata	0%	5,8	1150,5	558,7	1166,7	608,0	1,892	1,984	35,16	4,62	86,86	171,67	1685,25	2,60	648,17
BU 1 P1	2%	5,8	1137,2	613,0	1142,2	529,2	2,149	2,241	26,36	4,11	84,41	151	1482,37	2,70	549,02
BU 1 P1	2%	5,8	1173,8	636,8	1182,2	545,4	2,152	2,241	26,25	3,96	84,90	160	1570,72	2,60	604,12
BU 1 P1	2%	5,8	1180,0	632,8	1182,4	549,6	2,147	2,241	26,43	4,19	84,13	144	1413,65	2,80	504,87
Rata-rata	2%	5,8	1163,7	627,5	1168,9	541,4	2,149	2,241	26,35	4,09	84,48	151,67	1488,91	2,70	551,45
BU 1 P2	4%	5,8	1174,2	646,2	1176,8	530,6	2,213	2,300	24,17	3,78	84,34	132	1295,84	3,20	404,95
BU 1 P2	4%	5,8	1170,8	645,6	1172,6	527,0	2,222	2,300	23,87	3,41	85,73	140	1374,38	3,00	458,13
BU 1 P2	4%	5,8	1178,4	644,8	1176,8	532,0	2,215	2,300	24,10	3,69	84,67	124	1217,31	3,30	368,88
Rata-rata	4%	5,8	1174,5	645,5	1175,4	529,9	2,217	2,300	24,05	3,63	84,91	132,00	1295,84	3,17	409,21
BU 1 P3	6%	5,8	1177,4	702,4	1179,2	476,8	2,469	2,543	15,38	2,90	81,18	125	1227,13	3,60	340,87
BU 1 P3	6%	5,8	1181,8	710,4	1188,4	478,0	2,472	2,543	15,28	2,78	81,83	131	1286,03	3,50	367,44
BU 1 P3	6%	5,8	1181,6	706,4	1184,4	478,0	2,472	2,543	15,29	2,79	81,73	119	1168,22	3,70	315,74
Rata-rata	6%	5,8	1180,3	706,4	1184,0	477,6	2,471	2,543	15,32	2,82	81,58	125,00	1227,13	3,60	340,87



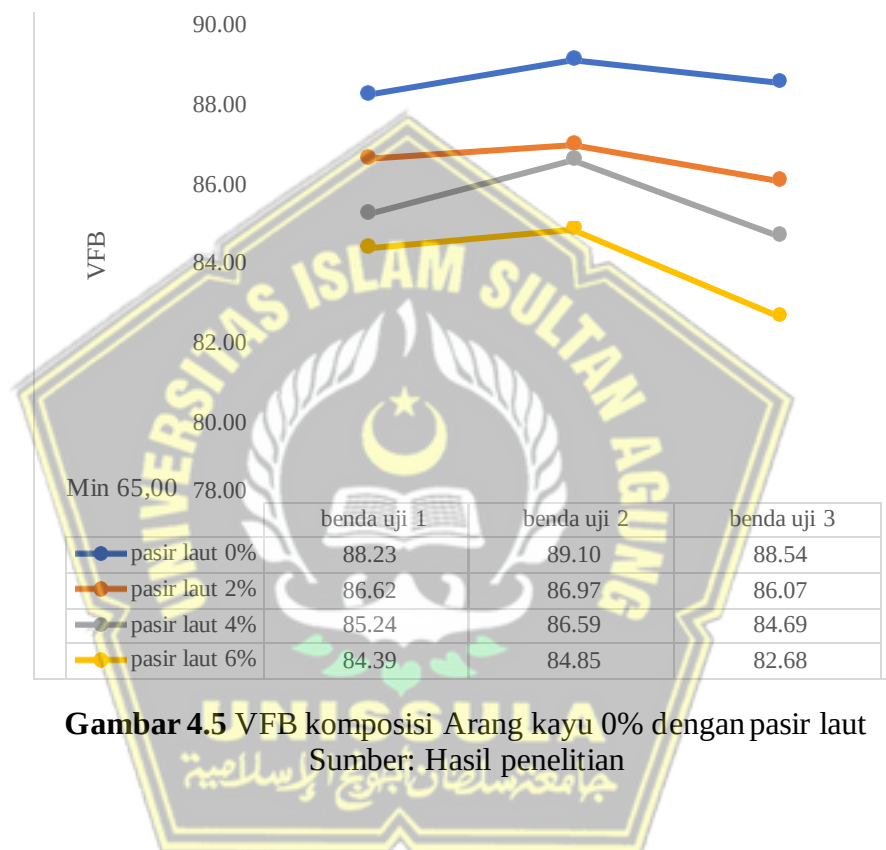
Gambar 4.3 VMA Komposisi Arang kayu 0% dengan pasir laut
Sumber : Hasil penelitian

Berdasarkan grafik VMA di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 35.16%, 26.35%, 24.05%, dan 15,32% Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 0% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.4 VIM komposisi Arang kayu 0% dengan pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

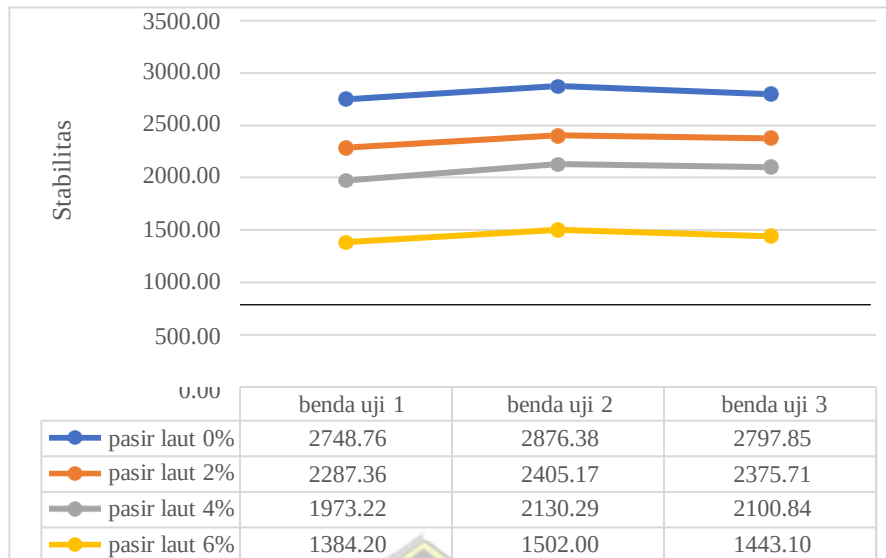
Nilai VIM (Void in Mix) campuran Arang kayu 0% dengan Pasir Laut menggunakan kadar 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 4,62%, 4,09%, 3,63%, 2,82%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3,00 % dan maksimum berada pada angka 5,00%.



Gambar 4.5 VFB komposisi Arang kayu 0% dengan pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

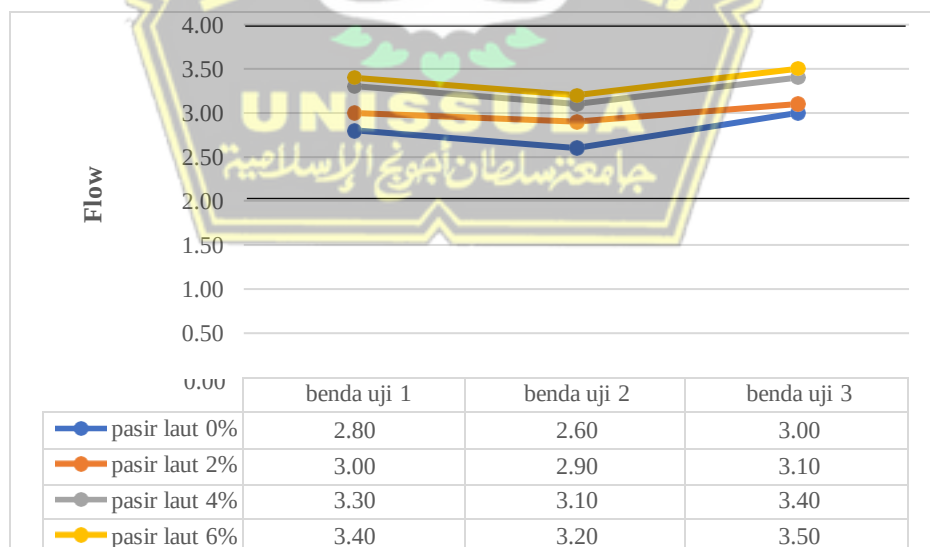
VFB adalah persentase rongga antar agregat yang terisi oleh aspal (bitumen). Ini menunjukkan seberapa banyak rongga dalam campuran agregat yang telah diisi oleh aspal.

Berdasarkan grafik VFB di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 86.86%, 84.48%, 84.91%, dan 81.58%, dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



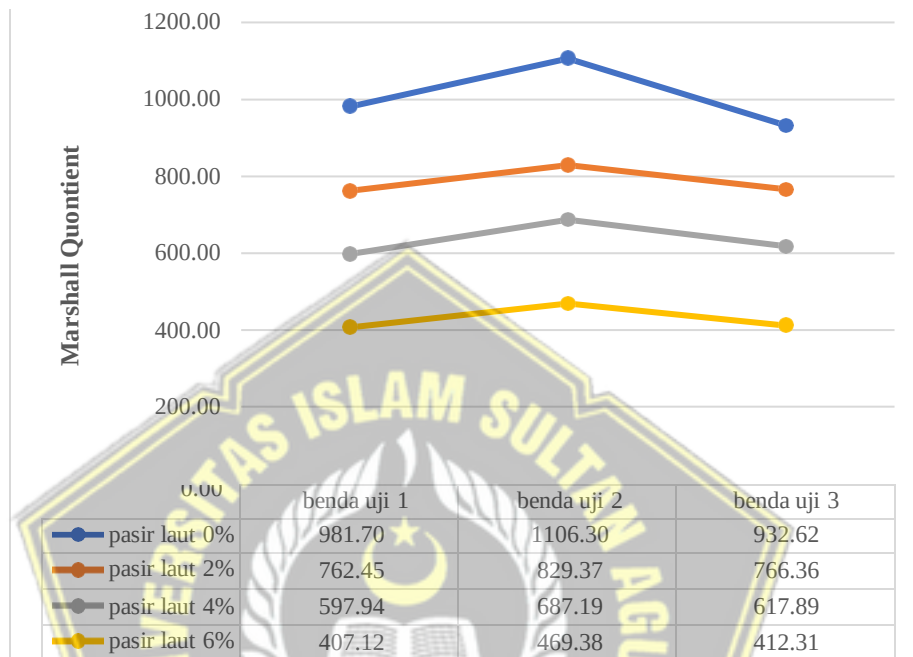
Gambar 4.6 Stabilitas komposisi Arang kayu 0% dengan Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Pada grafik Stabilitas di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 1685.25 kg, 1488.91 kg, 1295.84 kg, dan 1227.13 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 0% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



Gambar 4.7 Flow komposisi Arang kayu 0% dengan Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Pada grafik Flow di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 2.60 mm , 2.70 mm, 3.17 mm, dan 3.60 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.8 MQ komposisi Arang kayu 0% dengan Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Pada grafik MQ (Marshall Quotient) di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 648.17 mm , 551.45 mm, 409.21 mm, dan 340.87 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-).

4.4.2 Hasil Marshall benda uji kombinasi Arang kayu 2% dengan persentase Pasir laut 0%, 2%, 4%, 6%.

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Arang kayu 2% dengan Pasir Laut kadar (0%, 2%, 4%, dan 6%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada **Tabel 4.10**.

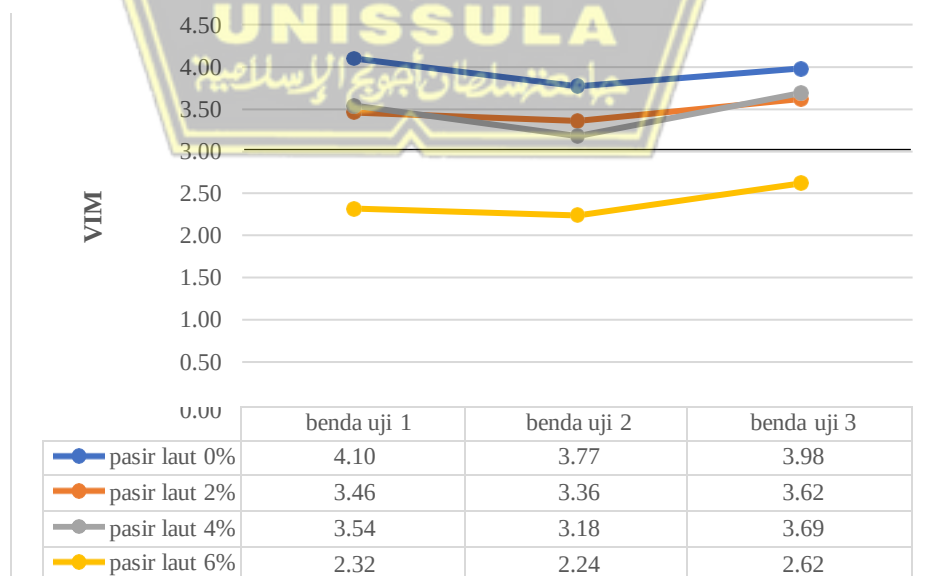
Tabel 4.10 Hasil marshall komposisi Arang kayu 2% dengan persentase pasir laut

BJ Aspal (T) :		1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse):		2,516	BJ Total Agg (Gsb) :		2,749	Kalibrasi Proving Ring :		9,817	Kg			
no benda uji	% Pasir laut	kadar aspal	berat di udara	Berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vfb)	stabilitas dibaca arloji		kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat total campuran	data timbang	Data Timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100*g) H	$\frac{100(i-j)}{i}$				m / n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
BU 2	0%	5,8	1146,6	553,6	1156,2	602,6	1,903	1,984	34,80	4,10	88,23	280	2748,76	2,80	981,70
BU 2	0%	5,8	1140,2	552,2	1149,4	597,2	1,909	1,984	34,58	3,77	89,10	293	2876,38	2,60	1106,30
BU 2	0%	5,8	1143,4	550,2	1150,4	600,2	1,905	1,984	34,72	3,98	88,54	285	2797,85	3,00	932,62
Rata-rata	0%	5,8	1143,4	552,0	1152,0	600,0	1,906	1,984	34,70	3,95	88,62	286,00	2807,66	2,80	1002,74
BU 2 P1	2%	5,8	1148,8	620,2	1151,2	531,0	2,163	2,241	25,86	3,46	86,62	233	2287,36	3,00	762,45
BU 2 P1	2%	5,8	1155,4	626,3	1159,8	533,5	2,166	2,241	25,79	3,36	86,97	245	2405,17	2,90	829,37
BU 2 P1	2%	5,8	1159,0	625,8	1162,4	536,6	2,160	2,241	25,99	3,62	86,07	242	2375,71	3,10	766,36
Rata-rata	2%	5,8	1154,4	624,1	1157,8	533,7	2,163	2,241	25,88	3,48	86,55	240,00	2356,08	3,00	785,36
BU 2 P2	4%	5,8	1169,2	645,6	1172,6	527,0	2,219	2,300	23,98	3,54	85,24	201	1973,22	3,30	597,94
BU 2 P2	4%	5,8	1163,8	644,6	1167,2	522,6	2,227	2,300	23,69	3,18	86,59	217	2130,29	3,10	687,19
BU 2 P2	4%	5,8	1167,4	643,8	1170,8	527,0	2,215	2,300	24,09	3,69	84,69	214	2100,84	3,40	617,89
Rata-rata	4%	5,8	1166,8	644,7	1170,2	525,5	2,220	2,300	23,92	3,47	85,51	210,67	2068,11	3,27	633,10
BU 2 P3	6%	5,8	1174,4	705,4	1178,2	472,8	2,484	2,543	14,88	2,32	84,39	141	1384,20	3,40	407,12
BU 2 P3	6%	5,8	1184,8	710,8	1187,4	476,6	2,486	2,543	14,81	2,24	84,85	153	1502,00	3,20	469,38
BU 2 P3	6%	5,8	1181,2	707,4	1184,4	477,0	2,476	2,543	15,14	2,62	82,68	147	1443,10	3,50	412,31
Rata-rata	6%	5,8	1180,1	707,9	1183,3	475,5	2,482	2,543	14,94	2,39	83,97	147,00	1443,10	3,37	428,64



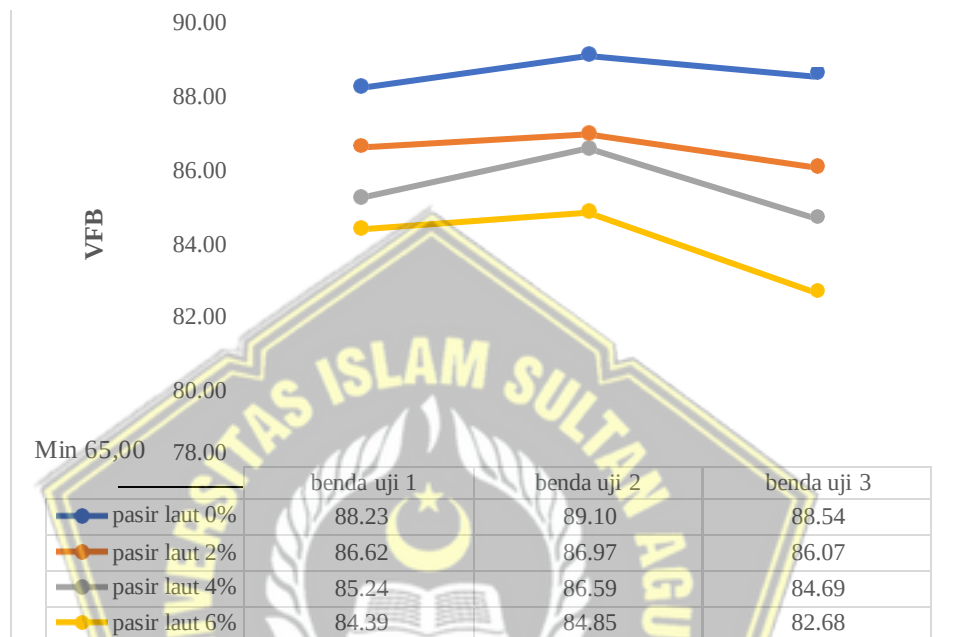
Gambar 4.9 VMA Komposisi Arang kayu 2% dengan pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.9.** grafik VMA di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi tetapi dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi (tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan) dengan hasil rata-rata yaitu 34.70%, 25.88%, 23.92%, dan 15.32%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 2% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.10 VIM Kombinasi Arang kayu 2% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

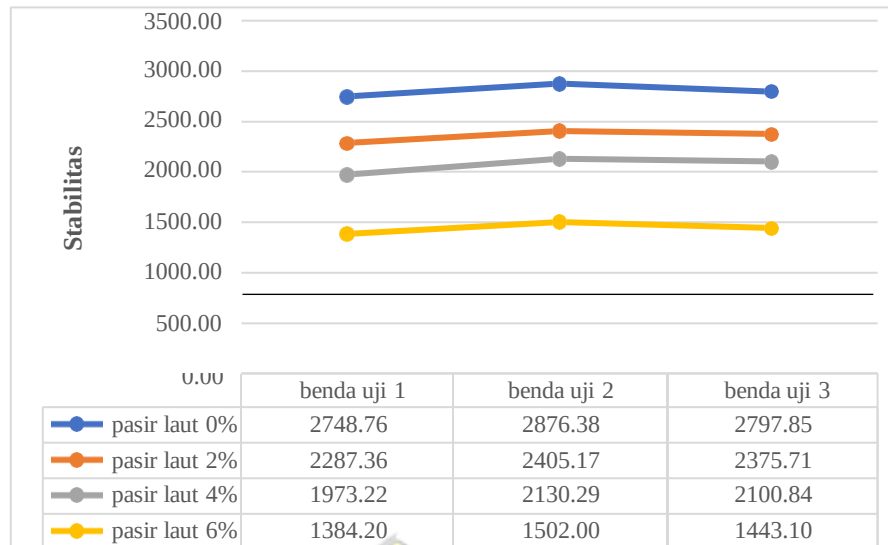
Nilai VIM (Void in Mix) pada **Gambar 4.10.**, campuran Arang kayu 2% dengan Pasir Laut menggunakan kadar 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.95%, 3.48%, 3.47%, 2.82%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.11 VFB Komposisi Arang kayu 2% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

VFB adalah persentase rongga antar agregat (VMA) yang terisi oleh aspal (bitumen). Ini menunjukkan seberapa banyak rongga dalam campuran agregat yang telah diisi oleh aspal.

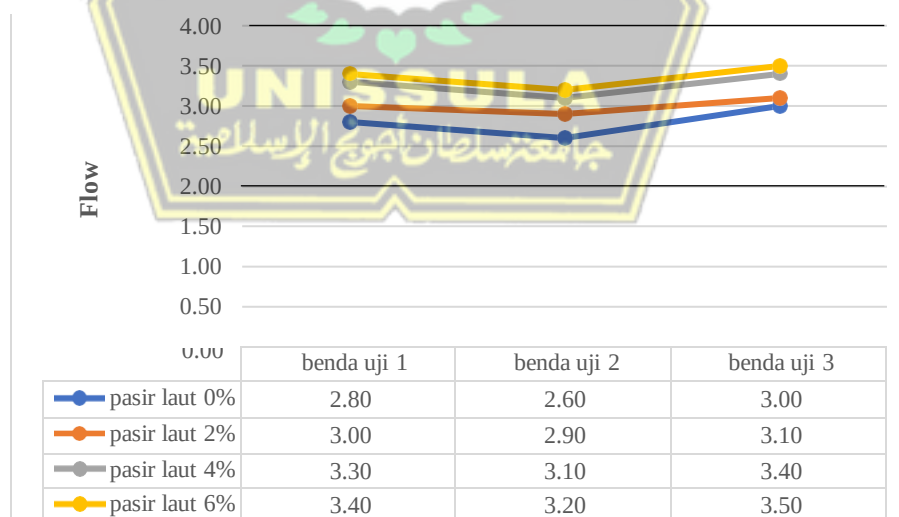
Berdasarkan **Gambar 4.11.** VFB di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 88.62%, 86.56%, 85.51%, dan 81,58% ,dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



Gambar 4.12 Stabilitas Komposisi Arang kayu 2% dengan persentase Pasir laut

Sumber: Hasil penelitian

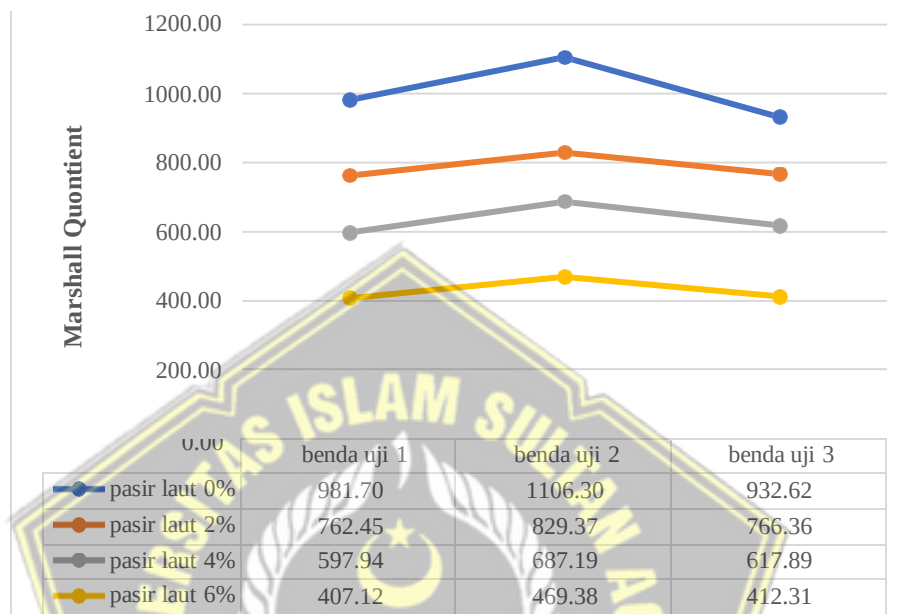
Berdasarkan **Gambar 4.12**, grafik Stabilitas di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 2807.66 kg, 2356.08 kg, 2068.11 kg, dan 1858.69 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 2% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



Gambar 4.13 Flow Komposisi Arang kayu 2% dengan persentase Pasir laut

Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.13** grafik Flow di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 2.80 mm , 3.00 mm, 3.27 mm, dan 3.60 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.14 MQ Komposisi Arang kayu 2% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

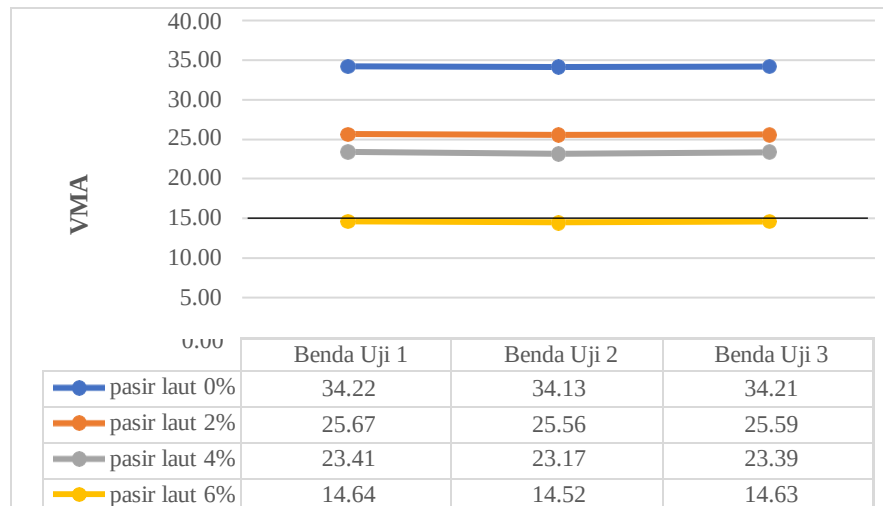
Berdasarkan **Gambar 4.14.** grafik MQ (Marshall Quotient) di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 10%, 20% dan 30% yaitu 1002.74 mm , 785.36 mm, 633.10 mm, dan 340.87 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-).

4.4.3 Hasil Marshall benda uji kombinasi Arang kayu 4% dengan persentase Pasir laut 0%, 2%, 4%, 6%.

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Arang kayu 4% dengan Pasir Laut kadar (0%, 2%, 4%, dan 6%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada **Tabel 4.11.**

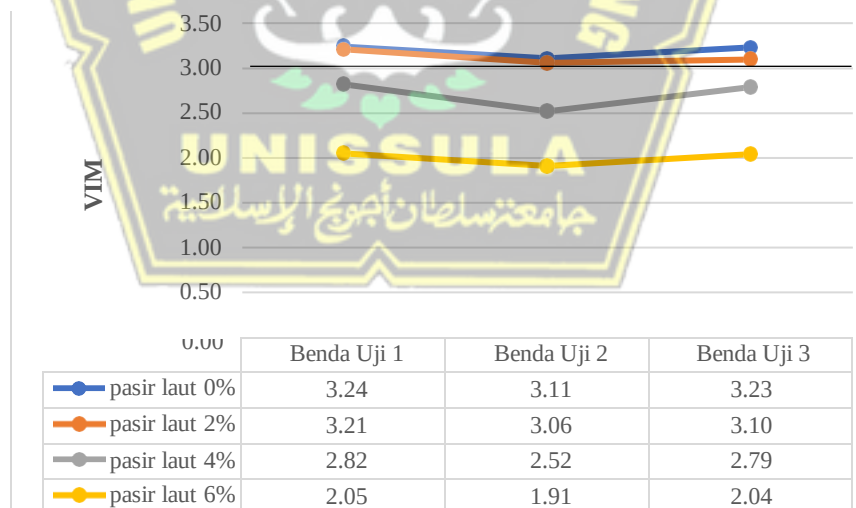
Tabel 4.11 Hasil marshall komposisi Arang kayu 4% dengan persentase pasir laut

BJ Aspal (T) :		1,034		BJ Efektif Total Agregat (Gse):		2,516		BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg	
no benda uji	% Pasir laut	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga Diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga Terisi aspal(vfb)	stabilitas dibaca arloji	di sesuaikan	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	K	L	m	n	o
		% berat total campuran	data timbang	Data Timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g Gsb	100 - (100*g) H	$\frac{100(i-j)}{I}$				m / n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
BU 3	0%	5,8	1149,8	554,6	1156,2	601,6	1,911	1,984	34,51	3,67	89,37	260	2552,42	3,00	850,81
BU 3	0%	5,8	1152,2	558,2	1159,4	601,2	1,917	1,984	34,33	3,40	90,09	274	2689,86	2,80	960,66
BU 3	0%	5,8	1153,6	556,2	1160,4	604,2	1,909	1,984	34,57	3,77	89,11	267	2621,14	2,90	903,84
Rata-rata	0%	5,8	1151,9	556,3	1158,7	602,3	1,912	1,984	34,47	3,61	89,52	267,00	2621,14	2,90	903,84
BU 3 P1	2%	5,8	1158,8	627,2	1161,8	534,6	2,168	2,241	25,73	3,28	87,25	215	2110,66	3,30	639,59
BU 3 P1	2%	5,8	1165,2	632,8	1169,8	537,0	2,170	2,241	25,65	3,18	87,62	223	2189,19	3,15	694,98
BU 3 P1	2%	5,8	1169,4	632,6	1172,4	539,8	2,166	2,241	25,77	3,33	87,07	219	2149,92	3,20	671,85
Rata-rata	2%	5,8	1164,5	630,9	1168,0	537,1	2,168	2,241	25,72	3,26	87,31	219,00	2149,92	3,22	668,37
BU 3 P2	4%	5,8	1171,6	649,6	1174,2	524,6	2,233	2,300	23,47	2,90	87,65	185	1816,15	3,50	518,90
BU 3 P2	4%	5,8	1174,8	654,2	1178,4	524,2	2,241	2,300	23,20	2,56	88,97	191	1875,05	3,30	568,20
BU 3 P2	4%	5,8	1177,4	653,8	1180,6	526,8	2,235	2,300	23,41	2,83	87,93	187	1835,78	3,40	539,94
Rata-rata	4%	5,8	1174,6	652,5	1177,7	525,2	2,236	2,300	23,36	2,76	88,18	187,67	1842,32	3,40	541,86
BU 3 P3	6%	5,8	1181,4	708,8	1183,6	474,8	2,488	2,543	14,74	2,15	85,38	135	1325,30	3,70	358,19
BU 3 P3	6%	5,8	1189,6	713,8	1190,2	476,4	2,497	2,543	14,43	1,81	87,48	141	1384,20	3,50	395,48
BU 3 P3	6%	5,8	1186,2	712,8	1188,2	475,4	2,495	2,543	14,50	1,88	87,02	137	1344,93	3,60	373,59
Rata-rata	6%	5,8	1185,7	711,8	1187,3	475,5	2,493	2,543	14,56	1,95	86,63	137,67	1351,47	3,60	375,41



Gambar 4.15 VMA Komposisi Arang kayu 4% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

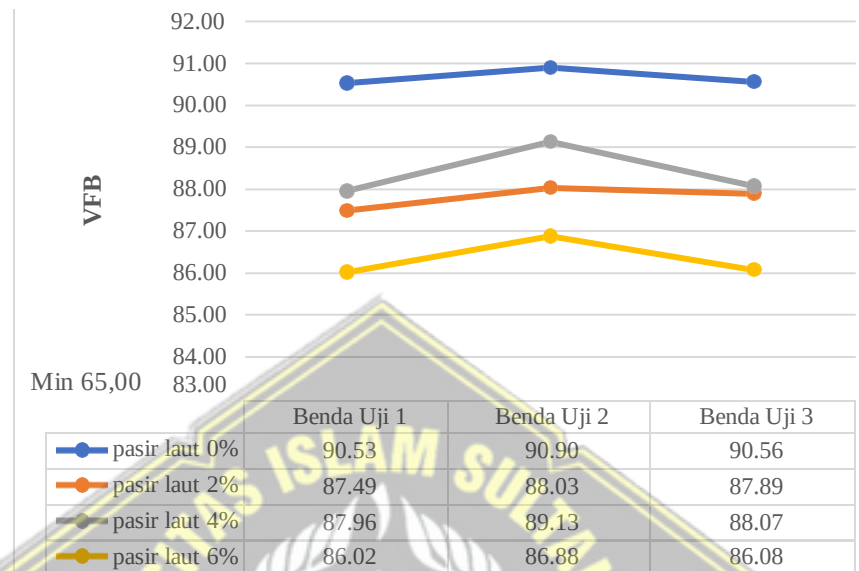
Berdasarkan **Gambar 4.15**. grafik VMA di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata yaitu 34.47%, 25.71%, 23.36%, dan 14.56%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 4% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.16 VIM Komposisi Arang kayu 4% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

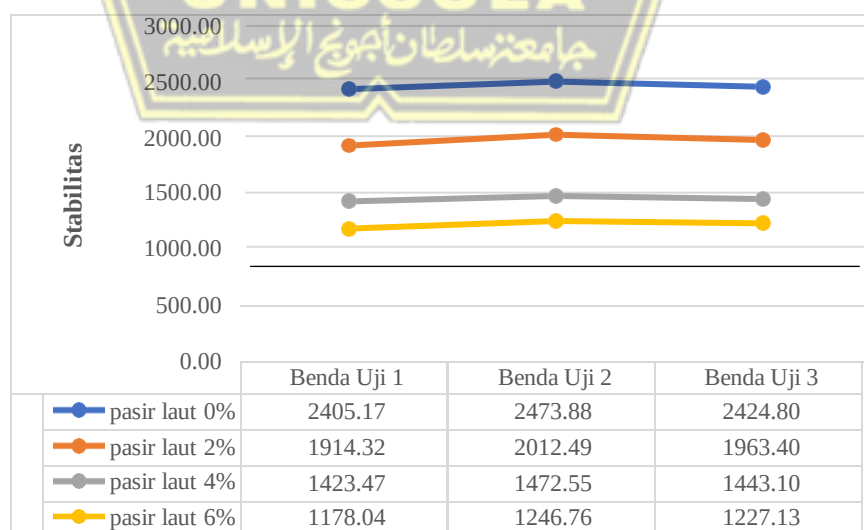
Nilai VIM (Void in Mix) pada **Gambar 4.16**. di atas, campuran Arang kayu 4% dengan Pasir Laut menggunakan kadar 0%, dan 2% memenuhi spesifikasi namun untuk kadar 4% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat

digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.61%, 3.26%, 2.76%, 1.95%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.17 VFB Komposisi Arang kayu 4% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

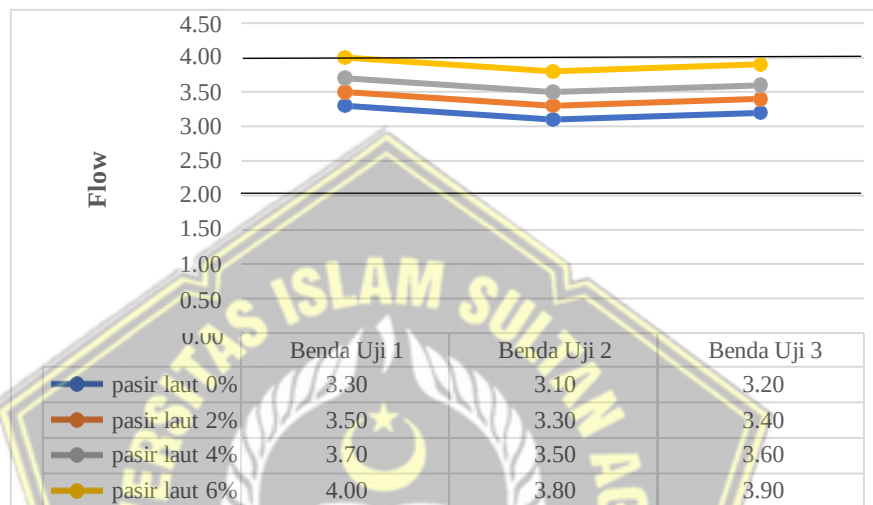
Berdasarkan **Gambar 4.17**. grafik VFB di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 89.52%, 87.31%, 88.18%, dan 86.63% , dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



Gambar 4.18 Stabilitas Komposisi Arang Kayu 4% dengan persentase Pasir laut

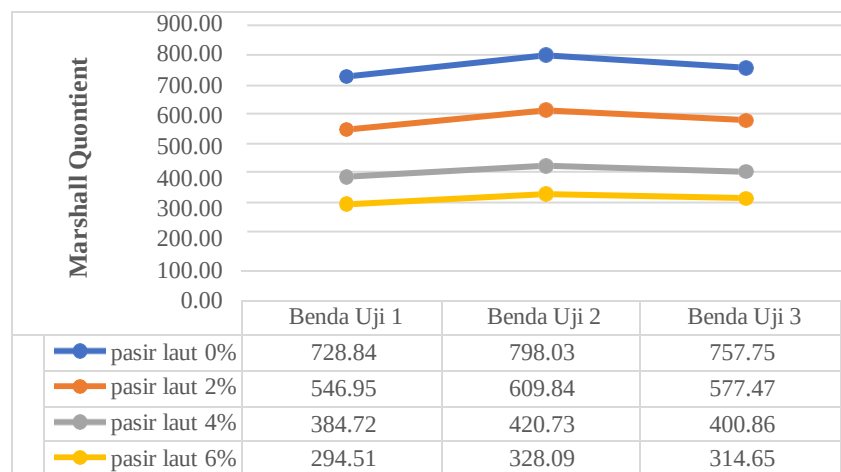
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.18.** grafik Stabilitas di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 2621.14 kg , 2149.92 kg, 1842.32 kg, dan 1351.47 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 4% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



Gambar 4.19 Flow Komposisi Arang kayu 4% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.19.** grafik Flow di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 2.90 mm , 3.22 mm, 3.40 mm, dan 3.60 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.20 MQ Komposisi Arang kayu 4% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.20**. grafik MQ (*Marshall Quotient*) di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 903.84 mm , 668.37 mm, 541.86 mm, dan 375.41 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-).

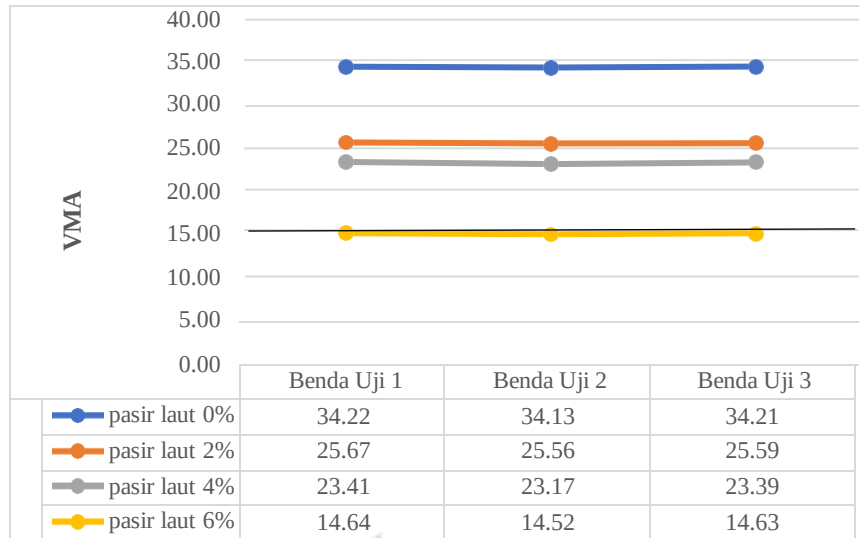
4.4.4 Hasil Marshall benda uji kombinasi Arang kayu 6% dengan persentase Pasir laut 0%, 2%, 4%, 6%.

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Arang kayu 6% dengan Pasir Laut kadar (0%, 2%, 4%, dan 6%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall :



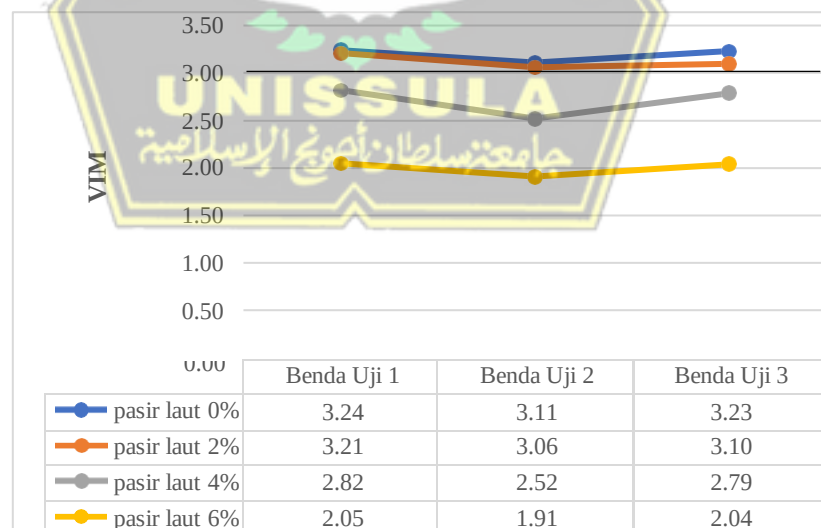
Tabel 4.11 Hasil marshall komposisi Arang kayu 6% dengan persentase pasir laut

BJ Aspal (T) :		1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse):		2,516	BJ Total Agg (Gsb) :		2,749	Kalibrasi Proving Ring :		9,817	Kg			
no benda uji	% Pasir laut	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vfb)	stabilitas dibaca arloji		kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	O
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100 *g) h	$\frac{100(i-j)}{i}$				m / n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
BU 4	0%	5,8	1156,8	554,6	1157,2	602,6	1,920	1,984	34,22	3,24	90,53	245	2405,17	3,30	728,84
BU 4	0%	5,8	1159,2	558,4	1161,4	603,0	1,922	1,984	34,13	3,11	90,90	252	2473,88	3,10	798,03
BU 4	0%	5,8	1165,4	559,2	1166,2	607,0	1,920	1,984	34,21	3,23	90,56	247	2424,80	3,20	757,75
Rata-rata	0%	5,8	1160,5	557,4	1161,6	604,2	1,921	1,984	34,19	3,19	90,66	248,00	2434,62	3,20	760,82
BU 4 P1	2%	5,8	1162,6	628,2	1164,2	536,0	2,169	2,241	25,67	3,21	87,49	195	1914,32	3,50	546,95
BU 4 P1	2%	5,8	1166,6	632,8	1169,8	537,0	2,172	2,241	25,56	3,06	88,03	205	2012,49	3,30	609,84
BU 4 P1	2%	5,8	1172,2	633,6	1173,4	539,8	2,172	2,241	25,59	3,10	87,89	200	1963,40	3,40	577,47
Rata-rata	2%	5,8	1167,1	631,5	1169,1	537,6	2,171	2,241	25,61	3,12	87,80	200,00	1963,40	3,40	577,47
BU 4 P2	4%	5,8	1174,8	650,6	1176,2	525,6	2,235	2,300	23,41	2,82	87,96	145	1423,47	3,70	384,72
BU 4 P2	4%	5,8	1176,2	652,8	1177,4	524,6	2,242	2,300	23,17	2,52	89,13	150	1472,55	3,50	420,73
BU 4 P2	4%	5,8	1181,4	654,2	1182,6	528,4	2,236	2,300	23,39	2,79	88,07	147	1443,10	3,60	400,86
Rata-rata	4%	5,8	1177,5	652,5	1178,7	526,2	2,238	2,300	23,32	2,71	88,39	147,33	1446,37	3,60	401,77
BU 4 P3	6%	5,8	1184,2	709,8	1185,2	475,4	2,491	2,543	14,64	2,05	86,02	120	1178,04	4,00	294,51
BU 4 P3	6%	5,8	1189,4	713,4	1190,2	476,8	2,495	2,543	14,52	1,91	86,88	127	1246,76	3,80	328,09
BU 4 P3	6%	5,8	1186,8	711,8	1188,2	476,4	2,491	2,543	14,63	2,04	86,08	125	1227,13	3,90	314,65
Rata-rata	6%	5,8	1186,8	711,7	1187,9	476,2	2,492	2,543	14,60	2,00	86,33	124,00	1217,31	3,90	312,13



Gambar 4.21 VMA Komposisi Arang kayu 6% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

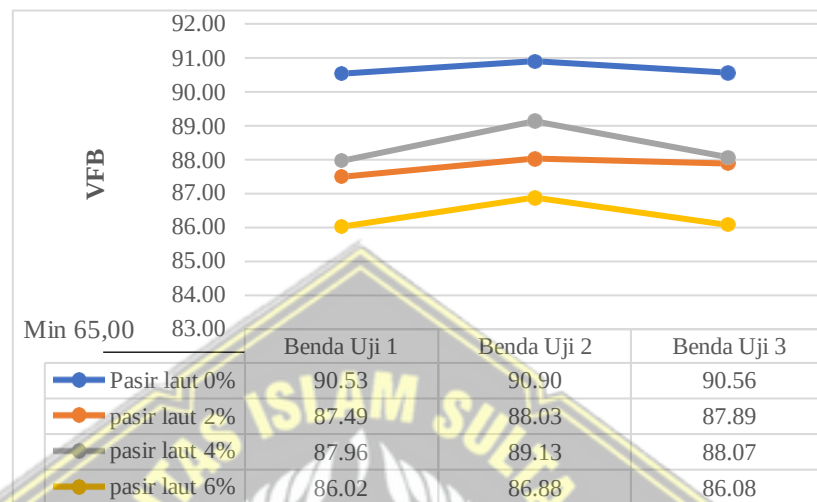
Berdasarkan **Gambar 4.21**, grafik VMA di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata yaitu 34.18%, 25.71%, 23.36%, dan 14.56%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 6% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.22 VIM Komposisi Arang kayu 6% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

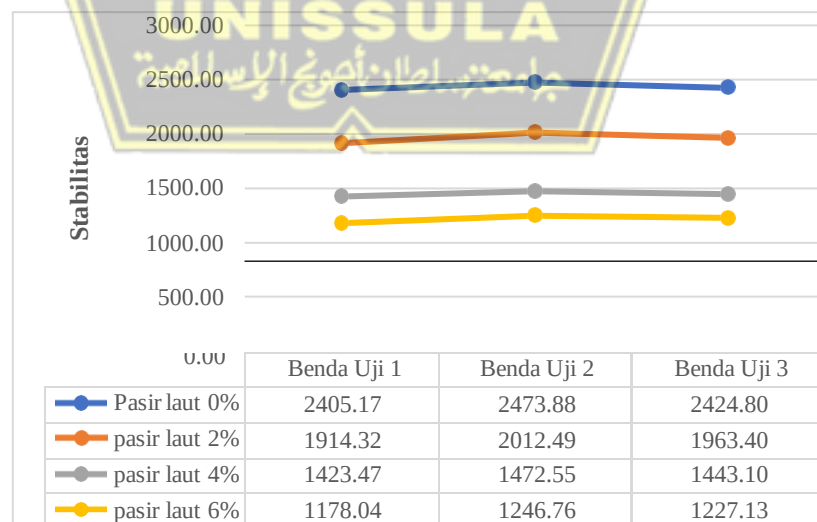
Nilai VIM (Void in Mix) pada **Gambar 4.22**. di atas, campuran Arang kayu 6% dengan Pasir Laut menggunakan kadar 0%, dan 2% memenuhi spesifikasi

namun untuk kadar 4% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.19%, 3.12%, 2.71%, 2.00%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



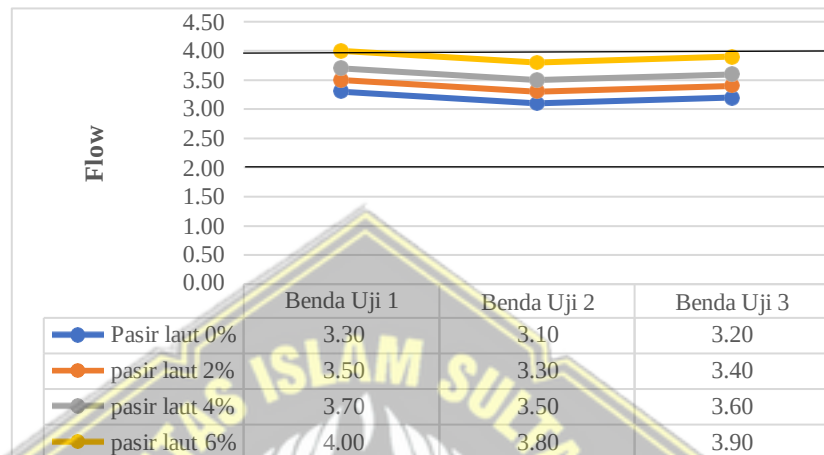
Gambar 4.23 VFB Komposisi Arang kayu 6% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.23**. grafik VFB di bawah, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 90.66%, 87.80%, 88.38%, dan 86.33% ,dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



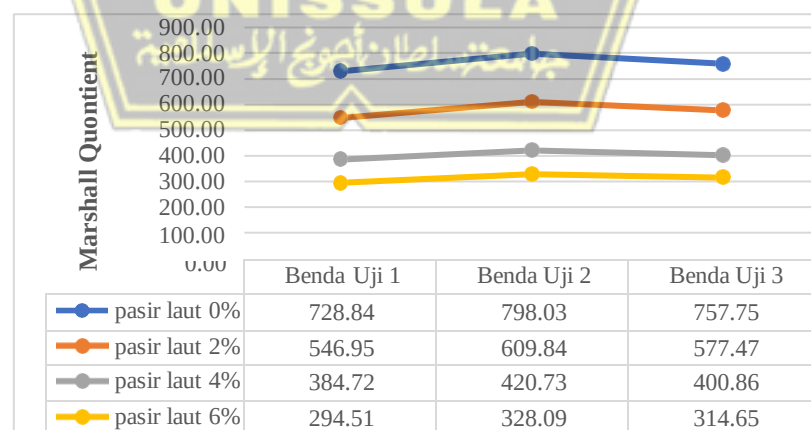
Gambar 4.24 Stabilitas Komposisi Arang kayu 6% dengan persentase PL
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.24.** grafik Stabilitas di bawah, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 2434.62 kg , 1963.40 kg, 1446.37 kg, dan 1217.31 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Arang kayu 6% dengan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



Gambar 4.25 Flow Komposisi Arang kayu 6% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.25.** grafik Flow di bawah, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 3.200 mm , 3.40 mm, 3.60 mm, dan 3.90 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.26 MQ Komposisi Arang kayu 6% dengan persentase Pasir laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan **Gambar 4.26.** grafik MQ (Marshall Quotient) di atas, nilai yang dihasilkan untuk kadar Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 760.82 mm , 577.47

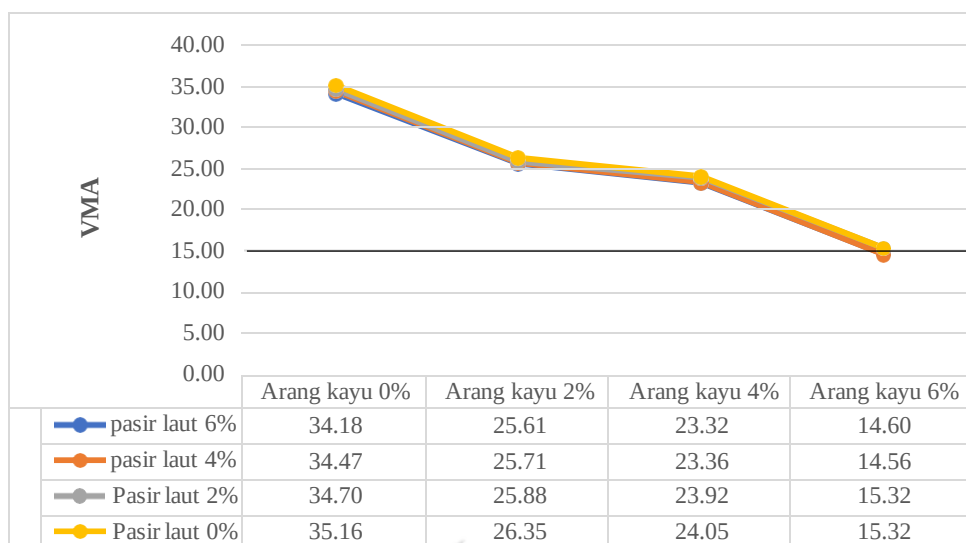
mm, 401.77 mm, dan 312.13 mm. Dari hasil yang didapatkan, nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-).

4.4.5 Hasil rekapitulasi Marshall benda uji kombinasi dengan Arang kayu 0%, 2%, 4%, 6% dengan persentase Pasir laut 0%, 2%, 4%, 6%.

Rekapitulasi Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Arang kayu 0%, 2%, 4% dan 6% dengan Pasir Laut kadar (0%, 2%, 4%, dan 6%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar.

Tabel 4.13. Rekap hasil rata-rata komposisi Arang kayu dengan Pasir laut

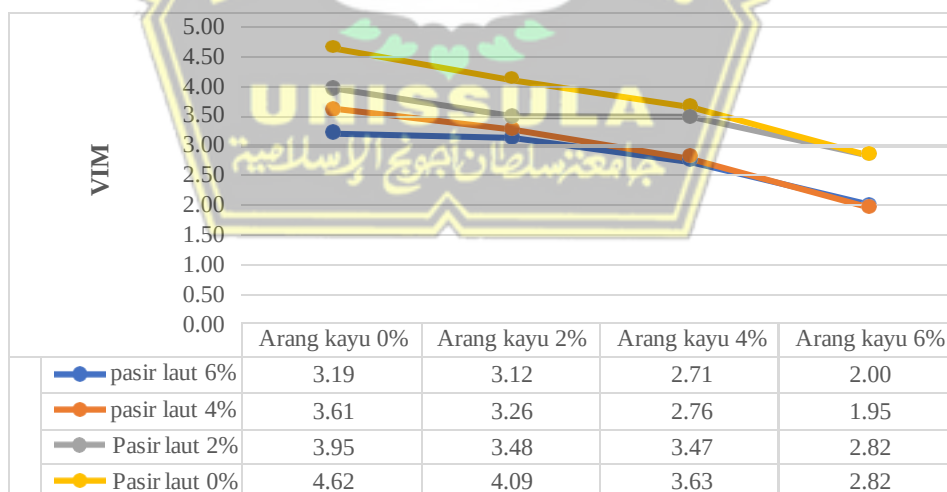
URAIAN KOMPOSISI ARANG KAYU + PASIR LAUT	SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM	ARANG KAYU	PASIR LAUT	SPESIFIKASI
Rongga Udara (VIM)	3,79	0 %	0 %, 2%, 4%, 6%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	25,22			Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	84,46			Min 65 %
Stabilitas Marshall	1424,28			Min 800 Kg
Kelelahan Plastis (Flow)	3,02			2.0 - 4.0
Marshall Quotient	487,43			-
Rongga Udara (VIM)	3,43	2 %	0 %, 2%, 4%, 6%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,95			Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	85,87			Min 65 %
Stabilitas Marshall	2356,08			Min 800 Kg
Kelelahan Plastis (Flow)	3,17			2.0 - 4.0
Marshall Quotient	690,52			-
Rongga Udara (VIM)	2,90	4 %	0 %, 2%, 4%, 6%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,53			Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	87,91			Min 65 %
Stabilitas Marshall	1991,21			Min 800 Kg
Kelelahan Plastis (Flow)	3,28			2.0 - 4.0
Marshall Quotient	622,37			-
Rongga Udara (VIM)	2,76	6 %	0 %, 2%, 4%, 6%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,43			Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,29			Min 65 %
Stabilitas Marshall	1765,42			Min 800 Kg
Kelelahan Plastis (Flow)	3,53			2.0 - 4.0
Marshall Quotient	513,05			-



Gambar 4.27. Rekapitulasi VMA Komposisi Arang kayu dengan Pasir Laut
Sumber: Hasil penelitian

Rongga di antara Agregat (VMA) kadar arang kayu + pasir laut dapat memengaruhi kondisi Spesifikasi dan bisa digunakan atau tidak sebagai perkerasan jalan:

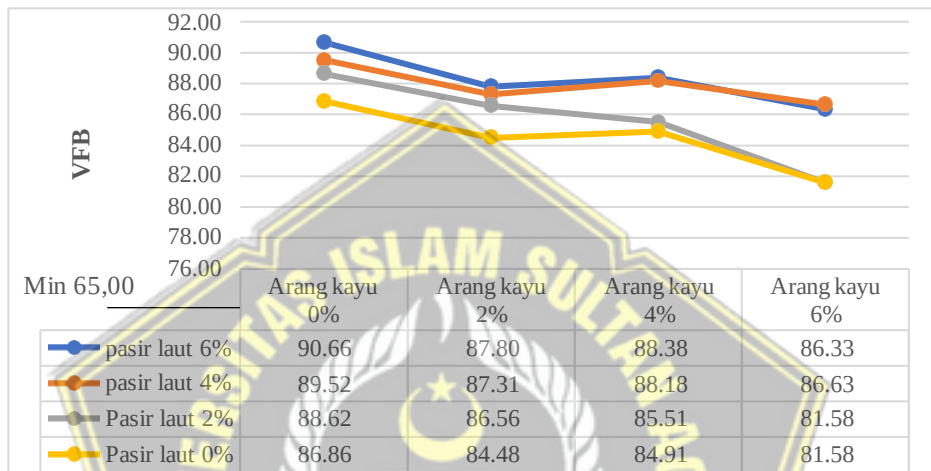
1. Hampir semua benda uji lolos VMA kecuali pada benda uji BU4P3 dan BU4P4 dengan nilai 14,56% dan 14,60%
2. Syarat Spesifikasi Bina Marga minimum berada di angka 15,00%



Gambar 4.28. Rekapitulasi VIM Komposisi Arang kayu dengan Pasir Laut
Sumber: Hasil penelitian

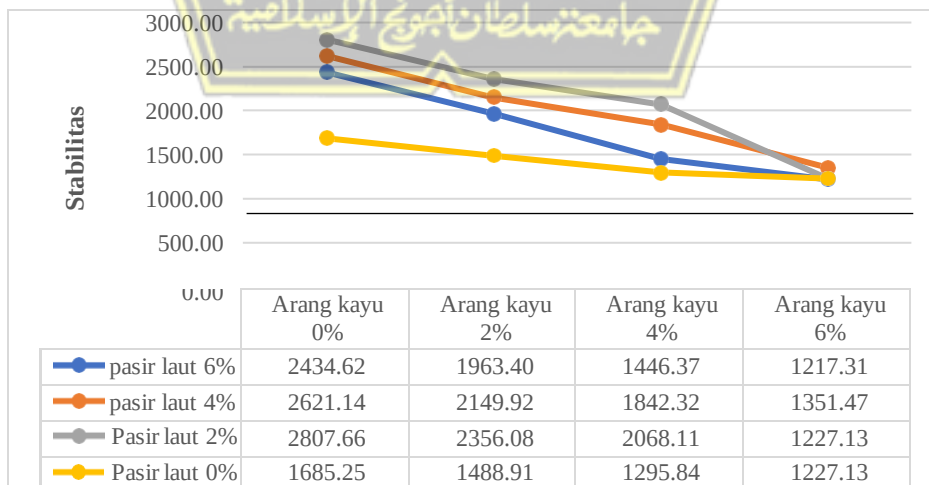
Rongga Udara (VIM) kadar arang kayu + pasir laut dapat memengaruhi kondisi Spesifikasi dan bisa digunakan atau tidak sebagai perkerasan jalan :

1. Semua BU1 dan BU2 lolos uji VIM. Yang tidak lolos uji VIM ada di BU3P3, BU3P4, dan semua BU4 dengan nilai 3,26 , 3,12 , 3,63 , 3,47 , 2,76 , 2,71 , 2,82, 2,82 , 1,95 , dan 2,00
2. Syarat spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%



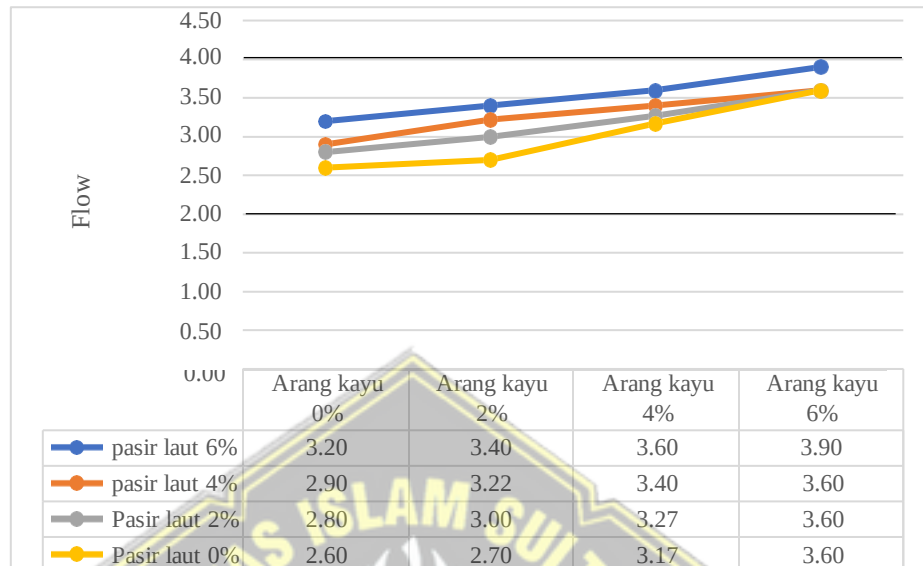
Gambar 4.29. Rekapitulasi VFB Komposisi Arang kayu dengan Pasir Laut
Sumber: Hasil penelitian

Dari hasil yang didapatkan nilai semua benda uji komposisi Arang kayu dan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 65%.



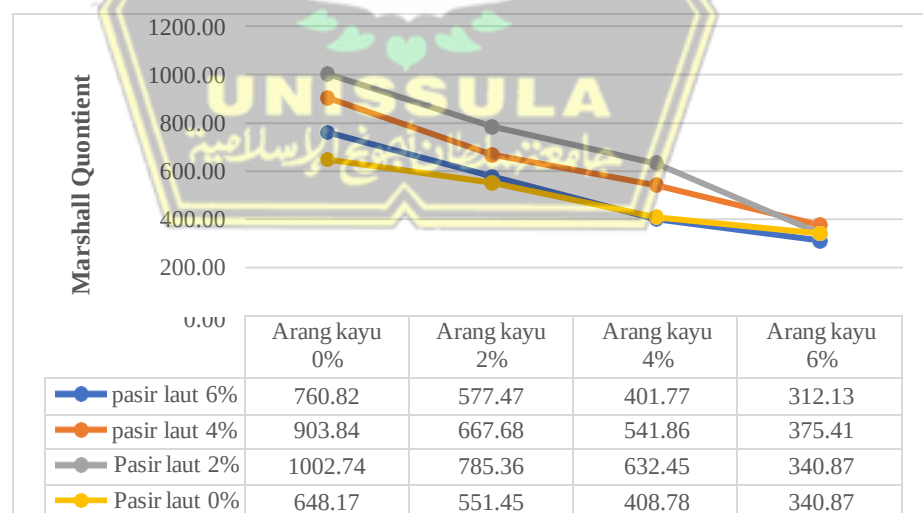
Gambar 4.30. Rekapitulasi Stabilitas Komposisi Arang kayu dengan Pasir Laut
Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai semua benda uji komposisi Arang kayu dan Pasir Laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 800 kg.



Gambar 4.31. Rekapitulasi Flow Komposisi Arang kayu dengan Pasir Laut
Sumber: Hasil penelitian

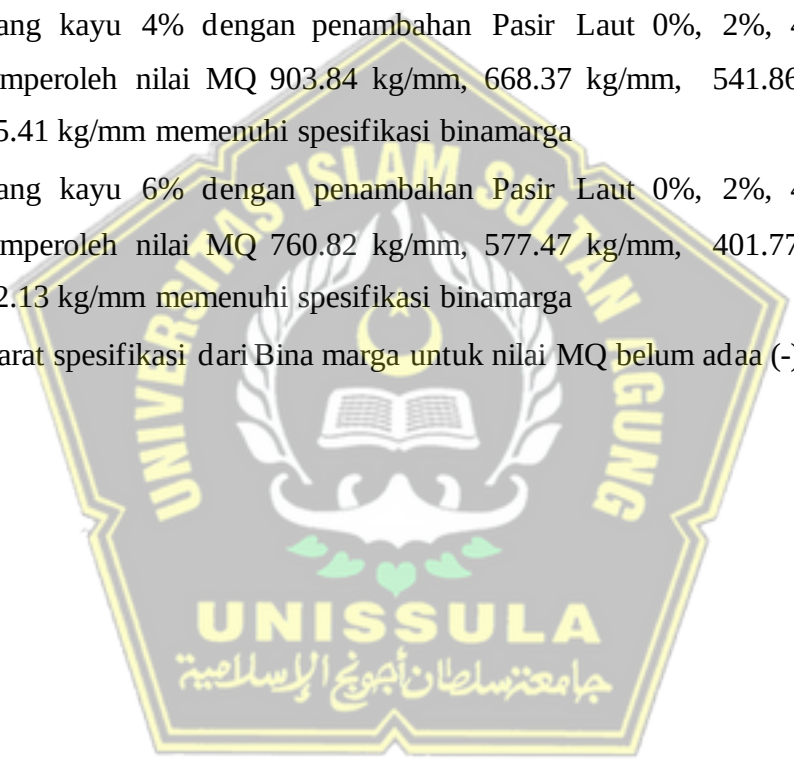
Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai semua benda uji komposisi Arang kayu dan Pasir laut telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga untuk nilai flow yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.32. Rekapitulasi Marshall Quotient Komposisi Arang kayu dengan Pasir Laut
Sumber: Hasil penelitian

Marshall Question (MQ) pada kadar 0%, 2%, 4%, 6% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Marshall Question (MQ) :

1. Arang kayu 0% dengan penambahan Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% memperoleh nilai MQ 648.17 kg/mm, 551.45 kg/mm, 409.21 kg/mm dan 340.87 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga
 2. Arang kayu 2% dengan penambahan Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% memperoleh nilai MQ 1002.74 kg/mm, 785.36 kg/mm, 633.10 kg/mm dan 340.87 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga
 3. Arang kayu 4% dengan penambahan Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% memperoleh nilai MQ 903.84 kg/mm, 668.37 kg/mm, 541.86 kg/mm dan 375.41 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga
 4. Arang kayu 6% dengan penambahan Pasir Laut 0%, 2%, 4% dan 6% memperoleh nilai MQ 760.82 kg/mm, 577.47 kg/mm, 401.77 kg/mm dan 312.13 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga
- Syarat spesifikasi dari Bina marga untuk nilai MQ belum adaa (-).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian sample aspal dari kadar 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dengan masing-masing 3 sample, didapatkan hasil kadar aspal 5,8% untuk digunakan dalam rancangan *job mix design*.
2. Berdasarkan hasil pengujian Marshall yang telah dilakukan, bahan tambah arang kayu dan pasir laut dengan kadar yang ditambah maka terjadi penurunan stabilitas. Nilai stabilitas keseluruhan memenuhi spesifikasi Bina Marga. Nilai VIM (*Void in The Mineral Agregat*) dan VMA (*Void in The Mineral Agregat*) juga ikut terpengaruhi. Nilai VMA (*Void in The Mineral Agregat*) hampir keseluruhan memenuhi spesifikasi kecuali pada kombinasi BU3P3 dan BU4P4. Nilai VIM (*Void in The Mix*) yang memenuhi spesifikasi pada Bina Marga hanya pada benda uji dengan kombinasi BU1P1, BU1P2, BU2, BU2P1, BU2P2, BU3, BU3P1, BU4, BU4P1. Nilai Flow, VFB dan MQ (Marshall Quotient) keseluruhan memenuhi spesifikasi. Job Mix Design terbaik terdapat pada terdapat pada komposisi BU1 dan BU2.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya, yaitu:

1. Pada saat melakukan pengujian maupun penakaran untuk komposisi campuran diharuskan berada pada ruangan yang kedap udara agar timbangan maupun hasil pengujian mendapat hasil yang akurat
2. Pastikan semua proses pengujian berdasarkan standar yang telah ditentukan oleh Bina Marga.
3. Pemilihan material yang tepat terutama dalam bahan tambah setelah diberlakukan perlakuan khusus seperti lolos saringan dan sebagainya, agar hasil yang didapatkan bisa optimal.
4. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan peneliti juga memikirkan tentang ekonomi dan lingkungan. Agar lebih ekonomis dan ramah lingkungan.
5. bagi peneliti selanjutnya diharapkan untuk lebih teliti dalam menganalisis beberapa bahan tambah untuk benda uji agar mendapatkan bahan tambah yang inovatif dan membantu dalam perkerasan jalan agar dapat direalisasikan dalam Perkerasan Jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ratnasari Ramlan dan Novita Pradhani. Studi Pemanfaatan Pasir Laut Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Beton Aspal, Mektek Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Tadulako, 2008.
- Abdul Gaus, Studi Penggunaan Pasir Pantai Bakau Sebagai Campuran Aspal Beton Jenis Hot Rolled Sheet (HRS), Tugas akhir Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangkaraya. 2013
- Rizki Cahyadi, Rika Sylviana dan Elma Yulius. Perbandingan Nilai Stabilitas Penggunaan Filler Serbuk Kulit Kerang Dengan Abu Batu Pada Campuran Beton Aspal, Teknik Sipil, Universitas Islam 45 Bekasi, 2015
- Juny Andry Sulisty. Perilaku aspal *Wearing course* Terhadap Pengaruh Rendaman air Pasang (rob) Dengan bahan Tambah *Polyethylene* dan *Fine aggregate slag*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, 2015.
- Mayang Sari dan Sina Wasila. Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik Sebagai Filler Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Asphatl Concrete – Wearing Course (Ac-Wc), Program Studi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan Politeknik Negeri Sriwijaya, 2015
- Arief Maulana, Komala Erwan, Eti Sulandari. Karakteristik Kekuatan Campuran Beraspal Akibat Air Laut, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 2016.
- Ferdiano Yogi Pradanadan M.Sektiaji K. Analisis Perbandingan Aspal Wearing Coarse (Ac-Wc) Dengan Buton Granular Aspal (Bga) 15/20 Pada Penetrasi 60/70 Menggunakan Fly Ash Terhadap Uji Parameter Aspal. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, 2023.
- M. Diky Maulana. Analisis pemanfaatan limbah Arang kayu Sebagai bahan tambah filler pada perkerasan Aspal (AC-WC), Program studi Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2023.