

TUGAS AKHIR

**PENGARUH LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE
TEREPHTHALATE* (PET) DAN KAWAT BENDRAT (*BEND
WIRE*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH CAMPURAN ASPHALT
CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC) PADA
PERKERASAN JALAN**

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



Disusun Oleh:

**Kondang Syaukani
NIM: 30202100114**

**Muhammad Hanif P
NIM: 30202100142**

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET)
DAN KAWAT BENDRAT (*BAND WIRE*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH
CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE* (AC-WC) PADA
PERKERASAN JALAN

Diajukan oleh:



Kondang Svaukani
NIM: 30202100114



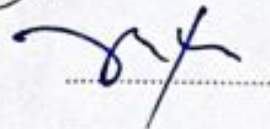
Muhammad Hanif P
NIM: 30202100142

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2025

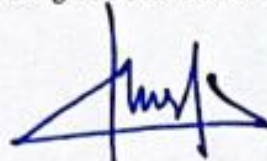
Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601

Tanda Tangan



Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 24 / A.3. / SA – T / 1 / 2025

Pada hari ini tanggal 17 Oktober 2024 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 :

Kondang Syaokani
NIM : 30202100114

Muhammad Hanif P
NIM : 30202100142

Judul : Pengaruh Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan Kawat Bendrat (*Bend Wire*) sebagai Bahan Tambah Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) pada Perkerasan Jalan

Dengan tahapan sebagai berikut :

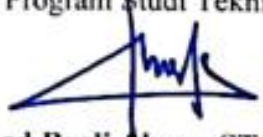
No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	17/10/2024	ACC
2	Seminar Proposal	23/11/2024	ACC
3	Pengumpulan data	25/11/2024	ACC
4	Analisis data	30/12/2024	ACC
5	Penyusunan laporan	01/01/2025	ACC
6	Selesai laporan	12/01/2025	ACC

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

Dosen Pembimbing


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

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Kondang Syauckani
NIM : 30202100114
2. NAMA : Muhammad Hanif Priambudi
NIM : 30202100142

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Pengaruh Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (Pet) dan Kawat Bendrat (*Band Wire*) sebagai Bahan Tambah Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (Ac-Wc) pada Perkerasan Jalan.

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, Januari 2025

Yang membuat pernyataan,


Kondang Syauckani
NIM : 30202100114


Muhammad Hanif P
NIM : 30202100142

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Kondang Syaukani
NIM : 30202100114
2. NAMA : Muhammad Hanif Priambudi
NIM : 30202100142

JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) DAN KAWAT BENDRAT (*BAND WIRE*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE* (AC-WC) PADA PERKERASAN JALAN.

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 dikemudian 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, Januari 2025

Yang membuat pernyataan,


Kondang Syaukani
NIM : 30202100113


Muhammad Hanif P
NIM : 30202100142

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

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

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتَهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۖ وَالَّذِي خَبَثَ لَا يَخْرِجُ إِلَّا نَجَسًا ۚ كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (QS. Al A’raf: 58)

مِنْهَا خَلَقْنَاكُمْ وَفِيهَا نُعِيدُكُمْ وَمِنْهَا نُخْرِجُكُمْ تَارَةً أُخْرَى

“Dari bumilah Kami ciptakan kamu, dan ke dalamnya Kami akan mengembalikan kamu, dan daripadanya pula Kami akan mengeluarkan kamu sekali lagi.” (QS. At Taha: 55)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan". (HR Tirmidzi) “Waktu itu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”. (HR. Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW akhir zaman. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, Ibu dan Bapak yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Adik-adik saya yaitu Dita Alia Nurani Sanggarwati, Rajih Aqsha Nauf, Zanki Baitul Maqdis, dan Muhammad Adzana Ka'bah yang sangat saya sayangi dan menjadi motivasi saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Paman Akhnan dan Om Agus Sukasman Hidayat yang sudah banyak membantu saya selama masa perkuliahan baik secara moril maupun materil.
4. Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Partner Tugas Akhir saya sekaligus sahabat Muhammad Hanif Priambudi yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terimakasih selalu ada dan mendukung saya, begitu beruntungnya saya mendapatkan sahabat dan partner sepertimu.
6. Irani Adelia yang menemani saya dalam proses penyusunan dan menjadi sumber motivasi serta kebahagiaan saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto, Mas Yogi, Zahra Ridha, Vieka Halwa, dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
8. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 dan Teman-teman saya di luar kampus yang turut memberikan semangat.

Kondang Syaukani

30202100114

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW akhir zaman. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, Ibu saya Tri Widyaningsih dan Bapak saya Khusnul Yazid yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Kakak saya Tomi Sugiarta yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Partner Skripsi saya sekaligus sahabat Kondang Syaukani yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terimakasih selalu ada dan mendukung saya, begitu beruntungnya saya mendapatkan sahabat dan partner sepertimu.
5. Karisma Nurul Nur Aini yang menjadi penyemangat, menemani setiap suka duka dan selaku sumber kebahagiaan saya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto, Mas Yogi, dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
7. Teman-teman ambis saya yaitu Azri, Daffa, Marchel dan Wafa yang dulu selalu main bersama dan setia mendengarkan keluh kesah saya.
8. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 dan Teman-teman saya di luar kampus yang turut memberikan semangat.

Muhammad Hanif Priambudi

30202100142

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb,

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan Kawat Bendrat (*Bend Wire*) sebagai Bahan Tambah Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Coarse* (AC-WC) pada Perkerasan Jalan” guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis dibantu oleh beberapa pihak, dalam kesempatan kali ini penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, Januari 2025

Penulis

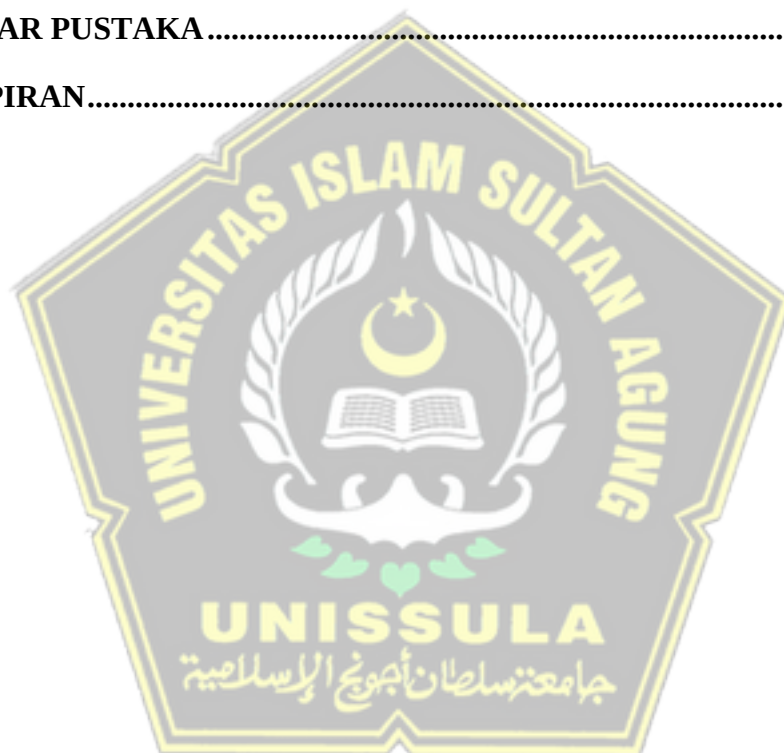
DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengertian Jalan	6
2.1.1 Jalan kelas I.....	6
2.1.2 Jalan kelas II	6
2.1.3 Jalan kelas III	7

2.2 Penegrtian Perkerasan Jalan	7
2.2.1 Rigid pavement	7
2.2.2 Flexible Pavement.....	8
2.2.3 Composite Pavement	8
2.3 Perkerasan Jalan Aspal Beton	9
2.3.1 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-WC).....	9
2.3.2 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-BC).....	9
2.3.3 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-Base).....	10
2.4 Karakteristik Penyusun Perkerasan Aspal Beton (AC-WC).....	10
2.4.1 Aspal	10
2.4.2 Agregat.....	10
2.4.3 Filler.....	14
2.4.4 Plastik PET (Polyethylene Terephthalate).....	15
2.4.5 Kawat Bendrat	15
2.4.6 Marshall test.....	16
2.4.7 Uji Karakteristik Marshall	16
2.5 Penelitian Terdahulu yang Sejenis	18
BAB III METODE PEMBUATAN	20
3.1 Jenis Penelitian.....	20
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	20
3.2.1 Bahan Penelitian	20
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	21
3.3 Pengumpulan Data	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	24
3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus.....	24

3.5.2 Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal.....	24
3.6 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>).....	24
3.7 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian	36
3.8 Bagan Alir Program Kerja	38
3.9 Prosedur Kerja.....	39
3.10 Metode Analisis	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Hasil Pengujian Bahan	44
4.1.1 Analisa Saringan	44
4.1.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	47
4.1.3 Hasil Pemeriksaan Aspal	48
4.2 Hasil Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan.....	48
4.3 Pengujian Berat Jenis Aspal Komposisi Normal	51
4.4 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994)	51
4.4.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum	52
4.4.2 Ringkasan Hasil pengujian AC Wearing.....	54
4.5 Pembuatan Benda Uji.....	55
4.6 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi.....	56
4.7 Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	57
4.7.1 Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i> Modifikasi Plastik PET dan Bendrat	57
4.7.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi P0 (Plastik PET 0%, Bendrat 0%, 2%, 4%)	61
4.7.3 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi P2 (Plastik PET 2%, Bendrat 0%, 2%, 4%)	64
4.7.4 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi P4 (Plastik PET 4%, Bendrat 0%, 2%, 4%)	68

4.7.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi P6 (Plastik PET 6%, Bendrat 0%, 2%, 4%)	71
4.7.6 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi P8 (Plastik PET 8%, Bendrat 0%, 2%, 4%)	75
4.7.7 Rangkuman Hasil Pengujin	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	88
5.1 Kesimpulan	88
5.2 Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	ix
LAMPIRAN.....	ix



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Agregat Halus untuk AC-WC.....	12
Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC.....	13
Tabel 2. 3 Amplop Gradasi Agregat Campuran untuk AC-WC	13
Tabel 2. 4 Keaslian Penelitian	18
Tabel 3. 1 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 0% dan Kawat Bendrat 0%	25
Tabel 3. 2 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 0% dan Kawat Bendrat 2%	25
Tabel 3. 3 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 0% dan Kawat Bendrat 4%	26
Tabel 3. 4 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 2% dan Kawat Bendrat 0 %	26
Tabel 3. 5 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 2% dan Kawat Bendrat 2 %	27
Tabel 3. 6 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 2% dan Kawat Bendrat 4 %	27
Tabel 3. 7 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 4 % dan Kawat Bendrat 0 %	28
Tabel 3. 8 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 4 % dan Kawat Bendrat 2 %	28
Tabel 3. 9 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 4 % dan Kawat Bendrat 4 %	29
Tabel 3. 10 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 6 % dan Kawat Bendrat 0 %	29
Tabel 3. 11 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 6 % dan Kawat Bendrat 2 %	30
Tabel 3. 12 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 6 % dan Kawat Bendrat 4 %	30
Tabel 3. 13 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 8 % dan Kawat Bendrat 0 %	31

Tabel 3. 14 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 8 % dan Kawat Bendrat 2 %	31
Tabel 3. 15 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan Kadar Plastik PET 8 % dan Kawat Bendrat 4 %	32
Tabel 3. 16 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal dengan Kadar Aspal 4%	32
Tabel 3. 17 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal dengan Kadar Aspal 4,5%	33
Tabel 3. 18 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal dengan Kadar Aspal 5%	33
Tabel 3. 19 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal dengan Kadar Aspal 5,5%	34
Tabel 3. 20 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal dengan Kadar Aspal 6%	34
Tabel 3. 21 Perhitungan Jumlah Sampel Campuran AC-WC Modifikasi.....	35
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	45
Tabel 4. 2 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	45
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	46
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	46
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88).....	47
Tabel 4. 6 Hasil uji sifat fisik agregat.....	47
Tabel 4. 7 Hasil pengujian karakteristik aspal	48
Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat (SNI 03-1968 1990 /AASHTO T.27-88)	49
Tabel 4. 9 Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).....	49
Tabel 4. 10 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum komposisi Normal	51

Tabel 4. 11 Pengujian Ekstraksi	51
Tabel 4. 12 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	52
Tabel 4. 13 Komposisi Material AC-WC.....	55
Tabel 4. 14 Rincian Benda Uji.....	55
Tabel 4. 15 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi	56
Tabel 4. 16 Hasil <i>Marshall</i> Modifikasi	58
Tabel 4. 17 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Plastik PET 0%,	61
Tabel 4. 18 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Plastik PET 2%, Bendrat 0%, 2%, 4%).....	64
Tabel 4. 19 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Plastik PET 4%, Bendrat 0%, 2%, 4%).....	68
Tabel 4. 20 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Plastik PET 6%, Bendrat 0%, 2%, 4%).....	71
Tabel 4. 21 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Plastik PET 8%, Bendrat 0%, 2%, 4%).....	75
Tabel 4. 22 Tabel VMA	78
Tabel 4. 23 Tabel VIM	79
Tabel 4. 24 Tabel VFB	79
Tabel 4. 25 Tabel Stabilitas	80
Tabel 4. 26 Tabel Flow.....	80
Tabel 4. 27 Tabel MQ	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lapisan Konstruksi perkerasan kaku (<i>Rigit Pavement</i>)	8
Gambar 2. 2 Konstruksi perkerasan lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	8
Gambar 2. 3 Konstruksi Perkerasan Komposit (Perkerasan Komposit)	9
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian.....	37
Gambar 4. 1 Pengambilan Material.....	44
Gambar 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	53



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat.....	50
Grafik 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	54
Grafik 4. 3 Nilai VIM	61
Grafik 4. 4 Nilai VMA.....	62
Grafik 4. 5 Nilai VFB	62
Grafik 4. 6 Nilai Flow.....	63
Grafik 4. 7 Nilai Stabilitas	63
Grafik 4. 8 Nilai Marshall	64
Grafik 4. 9 Nilai VIM	65
Grafik 4. 10 Nilai VMA.....	65
Grafik 4. 11 Nilai VFB	66
Grafik 4. 12 Nilai Flow.....	66
Grafik 4. 13 Nilai Stabilitas	67
Grafik 4. 14 Nilai Marshall	67
Grafik 4. 15 Nilai VIM	68
Grafik 4. 16 Nilai VMA.....	69
Grafik 4. 17 Nilai VFB	69
Grafik 4. 18 Nilai Flow.....	70
Grafik 4. 19 Nilai Stabilitas	70
Grafik 4. 20 Nilai Marshall	71
Grafik 4. 21 Nilai VIM	72
Grafik 4. 22 Nilai VMA.....	72
Grafik 4. 23 Nilai VFB	73
Grafik 4. 24 Nilai Flow.....	73
Grafik 4. 25 Nilai Stabilitas	74
Grafik 4. 26 Nilai Marshall	74
Grafik 4. 27 Nilai VIM	75
Grafik 4. 28 Nilai VMA.....	76
Grafik 4. 29 Nilai VFB	76
Grafik 4. 30 Nilai Flow.....	77
Grafik 4. 31 Nilai Stabilitas	77

Grafik 4. 32 Nilai Marshall	78
Grafik 4. 33 Grafik Hasil VMA	82
Grafik 4. 34 Grafik VIM	83
Grafik 4. 35 Grafik VFB	84
Grafik 4. 36 Grafik Stabilitas	85
Grafik 4. 37 Grafik Flow	86
Grafik 4. 38 Grafik MQ	87



ABSTRAK

Perkerasan lentur di Indonesia sering mengalami kerusakan sebelum umur rencana yang disebabkan oleh cuaca dan ketidakrataan campuran. Oleh karena itu, peneliti melakukan inovasi dengan penambahan plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dan kawat bendrat (*bend wire*) pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Coarse* (AC-WC) dengan tujuan untuk selain mengurangi sampah plastik namun juga meningkatkan karakteristik *Marshall* campuran AC-WC, serta memperbaiki ketidakrataan campuran.

Pada penelitian ini, variasi penambahan plastik PET dalam campuran AC yaitu sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%, serta untuk variasi penambahan kawat bendrat yaitu sebesar 0%, 2%, dan 4% terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO). Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai kepadatan, stabilitas, kelelahan plastis, VIM, VFA, VMA, dan MQ.

Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil, Penambahan plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dan kawat bandrat pada *job mix formula*. Komposisi terbaik terdapat pada modifikasi ariasi P6B0 (Plastik PET 6% dan Kawat Bendrat 0%) dan variasi P8B0 (Plastik PET 8% dan Kawat Bendrat 0%) dengan nilai stabilitas sebesar 1590,35 kg.

Kata kunci: AC-WC; Marshal; Kawat Bendrat; Plastik PET



ABSTRACT

Flexible pavements in Indonesia often experience premature failure due to weather conditions and mix irregularities. To address these issues, researchers have innovated by adding polyethylene terephthalate (PET) plastic and bend wire to Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) mixtures.

The objectives of this study were to reduce plastic waste, improve the Marshall characteristics of AC-WC mixtures, and enhance mix uniformity. In this research, the variations in PET plastic addition to the AC mixture were 0%, 2%, 4%, 6%, and 8%, while the variations in bend wire addition were 0%, 2%, and 4% relative to the Optimum Asphalt Content (OAC). Marshall tests were conducted to obtain values for density, stability, flow, VIM, VFA, VMA, and MQ.

The results of this study showed that the addition of polyethylene terephthalate (PET) plastic and bend wire to the job mix formula improved the properties of the AC-WC mixture. The optimal compositions were found in the modifications P6B0 (6% PET plastic and 0% bend wire) and P8B0 (8% PET plastic and 0% bend wire), with a stability value of 1590.35 kg.

Key Word : AC-WC; Marshall; Bend Wire; PET Plastic



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya volume kendaraan di Indonesia, jalan perlu diperkeras untuk menahan beban kendaraan yang semakin besar. Perkerasan membantu mengurangi deformasi atau kerusakan jalan yang disebabkan oleh beban berulang. Perkerasan jalan disini bertujuan untuk meningkatkan daya tahan jalan terhadap cuaca ekstrem seperti hujan, panas, dan kelembapan yang tinggi (Sugeng 2017). Tanpa perkerasan yang baik, air bisa meresap ke dalam lapisan tanah di bawah jalan dan menyebabkan kerusakan struktural. Perkerasan jalan juga berperan dalam pengembangan infrastruktur dan konektivitas wilayah. Jalan yang baik memungkinkan mobilitas barang dan orang yang lebih efisien, mendukung pertumbuhan ekonomi, dan memfasilitasi akses ke berbagai daerah.

Jalan di Indonesia sebagian besar menggunakan aspal sebagai bahan utama pada permukaan jalan. Aspal digunakan karena sifatnya yang fleksibel, sehingga dapat menyesuaikan diri dengan pergerakan tanah di bawahnya. Sifat ini membuat perkerasan aspal lebih tahan terhadap retakan akibat pergeseran tanah atau perubahan suhu. Fleksibilitas aspal juga membantu dalam meredam beban kendaraan yang melintas, sehingga memberikan kenyamanan lebih bagi pengguna jalan (Susilowati, Wiyono, and Pratikno 2021). Pemanfaatan aspal di Indonesia tidak hanya terbatas pada sektor transportasi saja namun juga banyak digunakan pada proyek konstruksi lainnya. Oleh karena itu, pengembangan dan penggunaan teknologi terkini untuk memodifikasi aspal menjadi suatu kebutuhan. Modifikasi ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan aspal dan meningkatkan sifat aspal agar lebih memenuhi persyaratan modern dalam hal kekuatan, elastisitas dan daya tahan.

Di sisi lain limbah plastik telah menjadi salah satu masalah lingkungan yang paling mengganggu di seluruh dunia. Penggunaan plastik yang luas dalam berbagai industri, mulai dari kemasan makanan hingga elektronik, membuat produksinya terus meningkat dari tahun ke tahun (Warlani 2019). Sebagian besar limbah plastik tidak dikelola dengan baik, yang berdampak buruk terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan ekosistem. Keberadaan plastik semakin melimpah, diperkirakan

sekitar 500 milyar – 1 trilyun plastik digunakan di dunia tiap tahunnya. Disisi lain, Indonesia berada diposisi ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik di laut yang mencapai 1,29 juta ton per tahun (Jambeck et al. 2015). Ide ini bertujuan untuk mengurangi jumlah limbah plastik yang berakhir di tempat pembuangan akhir selain itu juga meningkatkan kualitas dan daya tahan jalan aspal.

(Telehala 2023) dalam jurnalnya menyimpulkan bahwa limbah plastik sebagai bahan campuran aspal dapat meningkatkan mutu dan kualitas aspal beton. Hasil pengujian *Marshall* terhadap campuran beraspal yang mengandung plastik menunjukkan bahwa penambahan kadar plastik sampai dengan 3% pada aspal meningkatkan nilai stabilitas, berat isi, kepadatan agregat yang dipadatkan (CAD) dan *Marshall Quotient* campuran HRA. Campuran aspal dengan plastik memiliki sifat lebih kedap air, yang berarti dapat mengurangi penetrasi air ke dalam lapisan perkerasan. Hal ini membantu mengurangi risiko kerusakan akibat air, seperti pembentukan lubang atau retakan akibat genangan (Wijayanti and Radam 2022).

Pada perkerasan jalan beban yang diterima pada jalan adalah beban tekan dan tarik yang bisa menyebabkan deformasi. Selain itu beban Tarik juga dapat menyebabkan keretakan pada perkerasan jalan aspal. Dengan adanya permasalahan tersebut, Upaya untuk menanggulangnya dengan cara penambahan kawat bendrat sebagai kekuatan perkerasan. Kawat ini pada perkerasan beton digunakan untuk mengikat batang baja tulangan, yang membentuk rangka dalam konstruksi beton bertulang. Karena kawat bendrat memiliki kuat tarik yang cukup tinggi maka mampu meningkatkan kekakuan campuran aspal sehingga membantu mendistribusikan dan mereduksi tegangan dan tekanan akibat beban kendaraan untuk mencegah deformasi. (Hartono, Dian Eksana, and Fajari 2020) dalam jurnalnya menyimpulkan bahwa penambahan kawat bendrat dapat meningkatkan karakteristik *marshall* dari campuran aspal, yang berpotensi untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan.

Berdasarkan permasalahan kerusakan jalan yang ada di Indonesia serta inovasi pemanfaatan limbah plastik dan kawat bendrat dalam campuran aspal, maka dilakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui nilai *marshall* lapisan aspal AC-WC modifikasi dengan penambahan campuran limbah plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana presentase *Job Mix Formula* terbaik dan karakteristik perkerasan jalan *aspalt concrete wearing course* (AC-WC) pada modifikasi penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat?
2. Bagaimana hasil stabilitas yang terjadi pada perkerasan jalan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) modifikasi penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui presentase *Job Mix Formula* terbaik dan karakteristik perkerasan jalan *aspalt concrete wearing course* (AC-WC) pada modifikasi penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat
2. Mengetahui hasil stabilitas yang terjadi pada perkerasan jalan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) modifikasi penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung bagi peneliti dan pembaca semoga dapat menjadi referensi yang baik untuk penelitian selanjutnya. Berikut ini adalah manfaat dari penelitian ini:

1. Manfaat Teoritis

Secara teoritis peneliti mengharapkan penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan tambahan dalam menganalisa penggunaan modifikasi penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat terhadap durabilitas perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC).

2. Manfaat Praktis

Secara praktis peneliti mengharapkan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai berikut:

a. Bagi Peneliti Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan wawasan mengenai penelitian dari penggunaan modifikasi penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan penambahan kawat bendrat pada perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dan menjadi bekal sebagai bahan pembelajaran nantinya saat menjalankan pelaksanaan suatu proyek konstruksi.

b. Bagi Masyarakat

Bagi masyarakat umum penelitian ini diharapkan dapat menjadi pengetahuan tentang pemanfaatan limbah plastik dan kawat bendrat sebagai bahan modifikasi perkerasan jalan aspal.

c. Bagi Dunia Konstruksi

Bagi dunia konstruksi, diharapkan penelitian ini dapat digunakan implikasinya dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas dan tahan lama, serta pembuat kebijakan dalam pengembangan dan pemeliharaan perkerasan jalan yang efisien dan berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Jenis perkerasan berupa Lapisan Aspal Beton (LASTON) tipe AC-WC.
2. Analisa karakteristik material yang digunakan dalam campuran aspal beton, termasuk agregat, aspal, *filler*, bahan tambah.
3. Aspal yang digunakan dengan penetrasi 60/70.
4. Menggunakan bahan tambah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan kawat bendrat.
5. Variasi penambahan plastik PET yang digunakan 0%, 2%, 4%, 6%, 8%.
6. Variasi penambahan kawat bendrat yang digunakan 0%, 2%, 4%.

7. Lokasi penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung dan tidak dilakukan penghampanan di lapangan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan

Jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang harus ada di suatu daerah, karena jalan memiliki peranan penting untuk memudahkan manusia, kendaraan, dan barang dari satu tempat ke tempat yang lain. Jalan berfungsi sebagai jalur akses yang mendukung mobilitas dan transportasi, baik dalam lingkup kecil seperti jalan di area pemukiman maupun dalam skala besar seperti jalan raya antar kota atau jalan Tol (Priana 2018).

2.1.1 Jalan kelas I

Perkerasan yang didesain untuk menahan beban lalu lintas berat dengan durabilitas tinggi. Jenis perkerasan ini umumnya digunakan pada jalan-jalan utama yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap beban lalu lintas berulang serta kondisi cuaca yang ekstrem (Sulistyo 2020). Jalan ini memiliki lebar yang cukup untuk lalu lintas dua arah, dan permukaan berkualitas tinggi untuk menahan beban dari kendaraan berat. Biasanya terletak pada jalan arteri atau nasional yang menghubungkan antar kota atau provinsi, serta mencakup jalan tol untuk perjalanan jarak jauh. Menurut (Yamali, dkk 2019), agregat yang digunakan pada perkerasan kelas 1 biasanya memiliki ukuran dan sifat tertentu untuk memastikan stabilitas dan keawetan jalan.

2.1.2 Jalan kelas II

Perkerasan jalan kelas II umumnya terdiri atas beberapa lapisan, seperti lapisan pondasi bawah, pondasi atas, dan lapisan permukaan (Darmawan and Lizar 2020). Lapisan pondasi bawah biasanya terbuat dari material granular atau stabilisasi tanah yang berfungsi untuk menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (subgrade). Sedangkan lapisan permukaan menggunakan material aspal atau beton, tergantung pada jenis perkerasan yang diinginkan. Menurut (Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2018), perkerasan kelas II memiliki lapisan perkerasan yang lebih tipis dan sederhana dibandingkan dengan perkerasan kelas 1, namun tetap

memenuhi standar ketahanan dan kenyamanan pengguna. Jalan ini umumnya memiliki lebar yang cukup untuk lalu lintas dua arah dengan satu atau dua lajur, dan biasanya terdapat di jalan lokal, desa, atau kabupaten yang menghubungkan kawasan dalam satu wilayah, tanpa termasuk dalam jaringan jalan utama antar provinsi.

2.1.3 Jalan kelas III

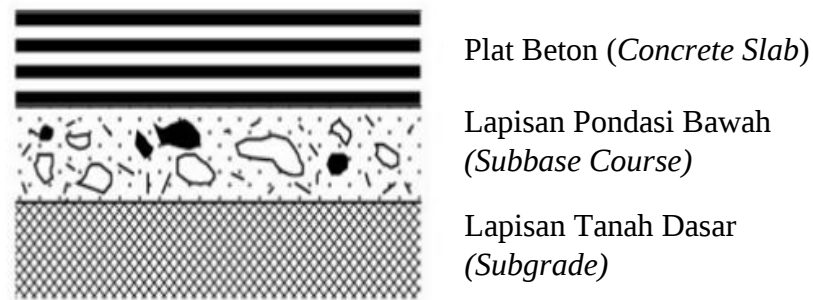
Perkerasan jalan merupakan struktur lapisan yang dirancang untuk menopang beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke tanah dasar (subgrade) secara efektif. Perkerasan jalan kelas 3, khususnya, diperuntukkan bagi jalan dengan volume lalu lintas rendah hingga sedang, umumnya di wilayah pedesaan atau kawasan dengan aktivitas lalu lintas yang lebih rendah dibandingkan jalan perkotaan (Rulhendri and Nurdiansyah 2016). Umumnya, jalan kelas III memiliki lebar lebih sempit dibandingkan jalan kelas II, dengan satu lajur yang cukup untuk lalu lintas satu arah atau dua arah dengan hati-hati. Kondisi permukaan jalan dapat bervariasi dan mungkin tidak sebaik jalan kelas I atau II, tergantung pada pemeliharaan.

2.2 Pengertian Perkerasan Jalan

Salah satu komponen penting untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas agar berjalan lancar adalah perkerasan jalan. Secara keseluruhan ada 3 jenis perkerasan, yaitu perkerasan kaku, perkerasan lentur, dan perkerasan fleksibel. Perkerasan merupakan campuran dari material – material dan pengikat untuk membentuk suatu lapisan yang dapat dilalui oleh kendaraan (Purwanto and Putra 2019).

2.2.1 Rigid pavement

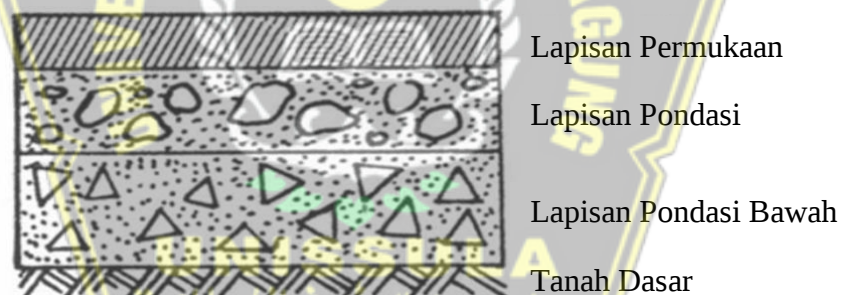
Rigid pavement (Perkerasan kaku) adalah konstruksi perkerasan yang lapisan atas menggunakan plat beton, perkerasan ini biasa disebut jalan beton. Menurut Direktorat Bina Konstruksi Balai Penerapan Teknologi Konstruksi, rabat beton merupakan perkerasan kaku (*rigid*) tersusun dari bahan semen, pasir, kerikil (*split*).



Gambar 2. 1 Lapisan Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)
(Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat 2017)

2.2.2 Flexible Pavement

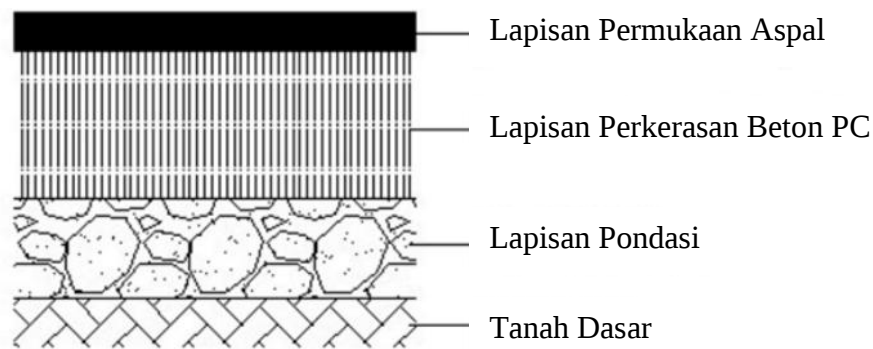
Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan lapisan-lapisan perkerasan di bawahnya untuk memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Aspal disini digunakan karena memiliki sifat termoplastis, yang bisa mencair saat dipanaskan mencapai temperatur tertentu dan saat temperature mulai menurun aspal akan mengeras mengikat agregat di bawahnya.



Gambar 2. 2 Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)
(Dinas Pekerjaan umum dan penataan Ruang, 2014)

2.2.3 Composite Pavement

Perkerasan komposit adalah gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) di atasnya, di sini kedua jenis perkerasan bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Kontruksi ini memerlukan biaya yang cukup mahal dari pada perkerasan yang lain, tetapi mempunyai tingkat kenyamanan yang lebih baik bagi pengendara. Perbedaan struktur perkerasan komposit dengan struktur perkerasan kaku yaitu terletak pada lapisan permukaannya. Pada struktur perkerasan komposit, lapisan atas berupa lapisan beraspal sedangkan pada struktur perkerasan kaku berupa beton semen.



Gambar 2. 3 Konstruksi Perkerasan Komposit (Perkerasan Komposit)
(Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat 2017)

2.3 Perkerasan Jalan Aspal Beton

2.3.1 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-WC)

AC-WC atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* adalah lapisan aspal beton yang berfungsi sebagai lapisan aus pada permukaan jalan, yang dirancang untuk menahan beban lalu lintas dan melindungi lapisan-lapisan perkerasan di bawahnya (Syahada and Aula 2024). Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas perkerasan ini adalah komposisi campuran aspal dan agregat yang digunakan dalam proses pembuatan aspal beton.

Pada umumnya, AC-WC dirancang dengan menggunakan aspal biasa sebagai pengikatnya, namun dalam perkembangan teknologi material, terdapat variasi dalam penggunaan bahan tambahan yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan perkerasan. Salah satunya adalah penggunaan bahan tambahan yang ramah lingkungan seperti *polyethylene terephthalate* (PET) plastik bekas dan bahan pengikat alternatif lainnya.

2.3.2 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-BC)

Perkerasan jalan aspal beton (AC-BC) merupakan salah satu jenis perkerasan yang banyak digunakan pada jalan raya di Indonesia, terutama pada jalan dengan volume lalu lintas tinggi. AC-BC disini berfungsi untuk menghubungkan lapisan-lapisan perkerasan jalan dengan memberikan kekuatan struktural (Latif et al. 2019). Perkerasan jalan aspal beton memiliki beberapa kelebihan, di antaranya adalah ketahanan terhadap deformasi plastis akibat beban lalu lintas dan ketahanan terhadap retakan yang disebabkan oleh perubahan suhu. Komposisi bahan yang

digunakan, serta metode pencampuran dan perawatan yang tepat, sangat mempengaruhi kualitas dan daya tahan perkerasan aspal beton.

2.3.3 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-Base)

Perkerasan jalan aspal beton *Asphalt Concrete-Base Course* (AC-Base), adalah lapisan dalam struktur perkerasan jalan yang terletak di bawah lapisan *binder course* (AC-BC) Agregat berfungsi sebagai elemen struktural, sedangkan aspal berperan sebagai pengikat antara agregat. Pemilihan bahan yang tepat sangat penting untuk mencapai kestabilan dan kekuatan perkerasan.

AC-Base, Lapis ini memiliki fungsi yaitu sebagai lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah, sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda lalu menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, dan sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan. (Bamher 2020)

2.4 Karakteristik Penyusun Perkerasan Aspal Beton (AC-WC)

2.4.1 Aspal

Aspal ialah bahan hidro karbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan viskoelastis. Aspal sering juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal berasal dari aspal alam (aspal buton) atau aspal minyak (aspal yang berasal dari minyak bumi). Berdasarkan konsistensinya, aspal dapat diklasifikasikan menjadi aspal cair, dan aspal padat. (Al-Amri 2013)

Berdasarkan sudut pandang kualitatif aspal terdiri dari dua kelas utama senyawa, yaitu *asphaltene* dan *maltene*. *Asphaltene* mengandung campuran kompleks hidrokarbon (5%-25%), terdiri dari cincin radial aromatik kental dan senyawa heteroaromatik yang mengandung belerang, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karboksilat), nikel dan *vanadium*. Di dalam *maltene* terdapat tiga komponen penyusun yaitu *saturated*, *aromatis*, dan *resin* (Sulila 2015).

2.4.2 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran aspal beton. Agregat memberikan stabilitas, kekuatan, dan sifat mekanis lainnya pada perkerasan.

Pemilihan jenis, ukuran, dan distribusi agregat memiliki dampak signifikan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal beton.

ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat atau 75- 85% agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (SNI 2439 2011).

Pemilihan agregat yang akan digunakan harus memperhatikan ketersediaan bahan di lokasi, jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, daya lekat agregat terhadap aspal, dan berat jenisnya. Agregat yang digunakan dalam perkerasan jalan ini memiliki diameter agregat antara 19 mm sampai 0.075 mm. Atau agregat yang lolos saringan no. 2 sampai no. 200.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu :

- Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (*toughness and durability*) bentuk butir serta tekstur permukaan.
- Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.
- Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (*skidresistance*) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*).

Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{Bs}{B+Bs-Bt} \times 10\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

Bs : Berat sample, (gram)

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh

Bk: Berat sample kering oven

2.4.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang lolos saringan no.8 (2,36mm), yang berfungsi untuk mengisi celah antara agregat kasar dan meningkatkan stabilitas campuran perkerasan. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya Ketentuan agregat halus menurut (Bina Marga 2018) dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Persyaratan Agregat Halus untuk AC-WC

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

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.4.2.2 Agregat Kasar

Fraksi Agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi persyaratan pada tabel 2.2. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut angular sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan

terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai *los angles abrasion test* harus dipenuhi.

Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
		magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	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 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat.

Tabel 2. 3 Amplop Gradasi Agregat Campuran untuk AC-WC

Pengujian			Metoda 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 2417:2008	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 Perbandingan 1:5	Maks. 5%
	Lainnya			Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum 2018, Tabel 6.3.2.3

Catatan:

1. Abrasi dengan mesin *Los Angeles* dengan 100 putaran harus dilakukan untuk mengetahui keseragaman mutu agregat dan nilai abrasi dengan 100 putaran tidak boleh melampaui 20% dari nilai abrasi dengan 500 putaran.
2. 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.4.3 Filler

Filler adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran dan meningkatkan kepadatan campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar *filler* maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas (Hartono, Dian Eksana, and Fajari 2020). Pada sisi lain kadar *filler* yang terlampaui rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal antara 0.6 sampai 1.2, yaitu perbandingan prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. *Filler* yang baik adalah yang tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan dalam keadaan kering (kadar air maks 1%). *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah Kapur. Fungsi *filler* dalam campuran adalah:

1. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
2. Filler dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar. Dan mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan

2.4.4 Plastik PET (Polyethylene Terephthalate)

Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) adalah bahan plastik yang umum digunakan, terutama dalam industri kemasan, seperti botol minuman. Di bidang teknik sipil, PET juga dieksplorasi sebagai bahan tambahan (*additive*) dalam proyek infrastruktur, terutama dalam campuran aspal untuk perkerasan jalan. Limbah PET dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat dalam campuran aspal beton. PET dapat berfungsi sebagai pengikat dan meningkatkan fleksibilitas aspal, yang berpotensi memperpanjang umur (Prameswari, Pratomo, and Herianto 2016). *Polyethylene Terephthalate* yang sering disebut PET dengan rumus kimia ($C_{10}H_8O_3$) dibuat dari glikol (EG) dan terephthalic acid (TPA) atau dimethyl ester (DMT). *Polietilen* adalah film yang lembut, transparan, dan fleksibel dengan ketahanan benturan dan sobek yang sangat baik. PET memiliki sifat termoplastik yang mirip dengan aspal, meleleh pada suhu tinggi dan mengeras pada suhu ruangan.

Pemanfaatan PET sebagai aditif meningkatkan volumetrik dan sifat *Marshall* dari aspal matriks batu, sangat meningkatkan umur kelelahan dan mengurangi pengembangan regangan permanen. Ada dua cara untuk menambahkan plastik polietilen perftalat (PET) ke dalam campuran aspal: basah dan kering. Cara basah dilakukan dengan mencampurkan plastik ke dalam aspal panas dan diaduk hingga homogen. dengan mencampurkan plastik kedalam aspal panas dan diaduk sampai homogen. Pencampuran secara basah, akan menunjukkan ketahanan alur yang lebih baik dan rasio kekuatan tarik yang lebih tinggi dan pencampuran kering menghasilkan ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan kelembaban permanen (Earnest 2015). Penambahan PET juga harus diperhatikan karena penambahan plastik PET terhadap aspal dapat mempengaruhi hasil dari pengujian aspal.

2.4.5 Kawat Bendrat

Penggunaan Kawat Bendrat diharapkan selain dapat menambah stabilitas campuran aspal juga dapat menambah kuat lentur campuran aspal, sehingga campuran aspal nantinya akan lebih tahan terhadap beban yang berjalan diatasnya. Peran kawat bendrat akan mirip seperti tulangan pada campuran beton, dimana kawat bendrat akan mencoba mempertahankan bentuk dari campuran aspal. Dimana penambahan paling efektif adalah pada kadar 5% dengan panjang kawat 3 cm, karena pada saat

itu nilai stabilitas *marshall* mengalami kenaikan yang sangat tinggi (Hartono, Dian Eksana, and Fajari 2020).

2.4.6 Marshall test

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji). Proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Di samping itu terdapat arloji kelelahan (flow meter) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Benda uji ini berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan menggunakan hammer (penumbuk) dengan berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm), dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Menurut (Setiawan 2019), kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

1. Penentuan berat volume benda uji
2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan kepadatan berat isi campuran aspal.
5. Perhitungan perbandingan rasio partikel bahan lolos saringan no.200 dengan kadar aspal efektif
6. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, VFA)
7. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

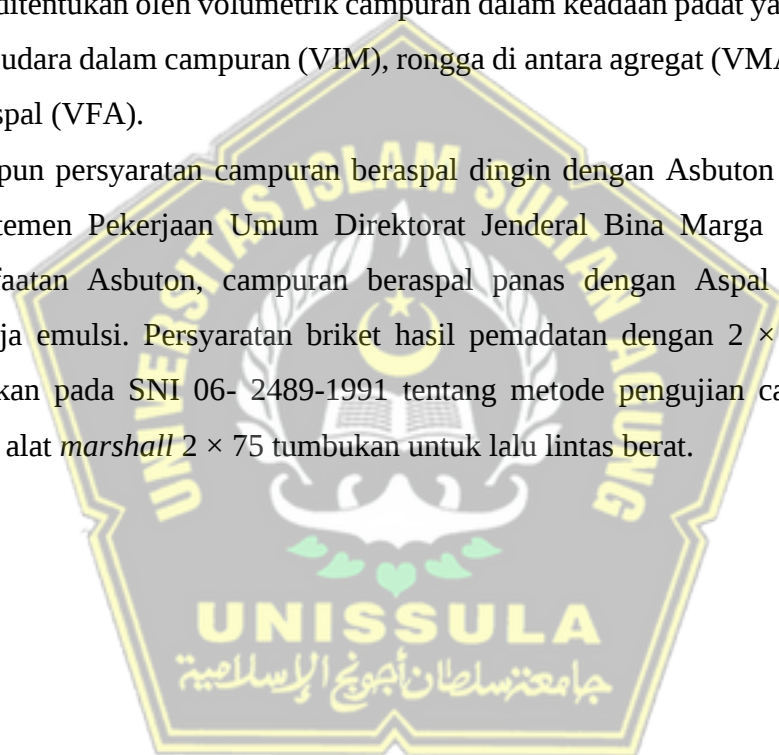
2.4.7 Uji Karakteristik Marshall

Uji *Marshall* adalah metode pengujian yang sangat penting dalam menentukan kualitas dan performa campuran aspal beton, termasuk kestabilan, flow, dan kepadatan. Metode ini sering digunakan untuk mengevaluasi karakteristik mekanik dari campuran aspal yang digunakan dalam perkerasan jalan, memastikan bahwa campuran tersebut memiliki kekuatan dan fleksibilitas yang memadai untuk

menahan beban lalu lintas. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dari Misisipi State *Highway Department* sekitar tahun 1940-an. Selain mendapatkan nilai stabilitas dan flow akan didapatkan pula nilai VIM, VMA, VFA dan *marshall quotient*. Dalam penelitian elastic modulus campuran aspal beton, design campuran aspal yang digunakan melibatkan metode *marshall*.

(Gul and Guler 2014)mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen dari campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder dipadatkan yanga dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat *marshall*, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat. Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri dari: rongga udara dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA).

Adapun persyaratan campuran beraspal dingin dengan Asbuton butir menurut (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2006) tentang pemanfaatan Asbuton, campuran beraspal panas dengan Aspal minyak butir peremaja emulsi. Persyaratan briket hasil pemadatan dengan 2×50 tumbukan sedangkan pada SNI 06- 2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat *marshall* 2×75 tumbukan untuk lalu lintas berat.



2.5 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Penelitian tentang teknologi dan inovasi perkerasan jalan aspal telah dilakukan sebelumnya, tetapi sejauh penelusuran yang telah dilakukan penelitian, belum ada penelitian yang sama dengan penelitian yang peneliti lakukan. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya antara lain:

Tabel 2. 4 Keaslian Penelitian

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
1	Muhammad Isfan Arif, Sasana Putra, Dwi Herianto, Rahayu Sulistyorini (2023)	Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Limbah Plastik Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal	Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen skala laboratorium. Rancangan penelitian mencakup pengujian berbagai proporsi campuran aspal porus dengan penambahan PET.	polyethylene terephthalate (PET) sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal porus	Penambahan PET hingga 7,5% dapat menurunkan nilai flow campuran aspal porus, yang menunjukkan bahwa campuran memiliki fleksibilitas yang optimal.
2	Ananda Wirawan Tritama Harahap, Sasana Putra, Dwi Herianto, Rahayu Sulistyorini (2023)	Durabilitas Campuran Porous Asphalt Dengan Limbah Plastik Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal	Metode ini dirancang untuk Memberikan pemahaman yang komprehensif tentang bagaimana penambahan limbah plastik PET dapat mempengaruhi performa dan durabilitas campuran aspal porus.	penambahan limbah plastik polyethylene terephthalate (PET), Persentase limbah plastik PET yang ditambahkan ke dalam campuran aspal, yang diuji pada tiga level: 0%, 5%, dan 7,5%.	Penambahan PET pada campuran aspal porus meningkatkan titik lembek aspal, Ini menunjukkan bahwa campuran aspal porus menjadi lebih tahan terhadap perubahan suhu Pada pengujian kekakuan.

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
3	Muhammad Rafly Novendra, Sasana Putra, Dwi Herianto, Rahayu Sulistyorini (2023)	Pengaruh Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pengikat Aspal Terhadap Kekuatan Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)	Metode ini dirancang untuk memberikan data yang akurat mengenai performa campuran aspal yang dimodifikasi dengan PET, serta untuk Mengevaluasi potensi penggunaan limbah plastik dalam konstruksi jalan.	Penambahan Polyethylene Terephthalate (PET) pada campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC), Kadar PET yang ditambahkan ke dalam campuran aspal bervariasi pada tingkat 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%	Penambahan PET pada campuran aspal meningkatkan nilai stabilitas. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada kadar PET 2%
4	Juandra Hartono, Dian Eksana Wibowo, Avit Fajari (2020)	Pengaruh Variasi Bahan Tambah Kawat Bendrat Dan Filler Abu Sekam Padi Pada Laston (Ac-Bc) Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Pada penelitian ini kadar aspal yang digunakan yaitu sebesar 6%. Kemudian untuk penambahan kawat bendrat dibedakan berdasarkan kadar dan ukuran.	kawat bendrat dengan variasi kadar 0%, 5%, 7%, dan 9% dari berat total campuran. Panjang kawat bendrat yang digunakan, yaitu 2 cm dan 3 cm.	Nilai kepadatan tertinggi dicapai pada penambahan kawat 3 cm dengan kadar 9%, yaitu sebesar 2,20 gr/cc. Kadar 5% dengan panjang 3 cm juga menunjukkan nilai kepadatan sebesar 2,15 gr/cc

BAB III

METODE PEMBUATAN

3.1 Jenis Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Sa'dullah (2016), menyatakan bahwa eksperimen adalah kegiatan percobaan untuk meneliti suatu peristiwa atau gejala yang muncul pada kondisi tertentu, dengan cara melakukan pengamatan dan kontrol yang cermat, sehingga dapat diketahui hubungan sebab akibat dari munculnya gejala tersebut. Metode eksperimen yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap perlakuan lainnya dalam kondisi terkendali (Purnama 2019). Dari definisi yang telah dijelaskan oleh beberapa ahli, dapat disimpulkan bahwa penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan suatu variable terhadap objek penelitian.

Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan tujuan untuk memperoleh data yang dapat diolah dengan tujuan pengembangan di bidang ketekniksipilan. Eksperimen dilakukan dengan membandingkan hasil tes *marshall* sampel uji dengan memberikan variasi tambahan plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dan *bend wire* terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Agregat kasar, aggregate halus, dan abu batu diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) di AMP (*Asphalt Mixing Plan*) PT. Mohandas Oeloeng Kendal.
2. Bahan aspal menggunakan Aspal Pen 60/70.
3. Plastik *polyethylene terephthalate* (PET) digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Plastik *polyethylene terephthalate* (PET) diharapkan dapat menambah ketahanan dan stabilitas campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-

WC) terhadap beban lalu lintas dan juga suhu di lapangan. Kadar Plastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang digunakan antara lain: 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari Kadar Aspal Optimum (KAO). Plastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang digunakan berasal dari limbah botol air mineral.

4. *Bend wire* digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang diharapkan mampu menambah stabilitas dan mencegah *stripping* pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Kawat bendrat yang digunakan yaitu dengan panjang 3 cm dan kadar variasi 0%, 2%, dan 4% terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO).

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang dipakai dalam penelitian berasal dari Laboratorium Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Peralatan yang dipakai meliputi :

1. Peralatan Pengujian Analisa Saringan

Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian analisa saringan meliputi :

- a. Satu set saringan agregat 1½", 1", ¾", ½", ⅜", no.4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200.
- b. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.
- c. *Pan* dan penutup.
- d. Oven dengan pengatur suhu.
- e. Cawan sebagai tempat benda uji.

2. Peralatan Pengujian Berat Jenis

Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian berat jenis agregat kasar dan halus antara lain :

- a. Oven dengan pengatur suhu.
- b. Saringan no. 4 dan no. 8.
- c. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.

3. Peralatan Pengujian Abrasi Agregat

Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian abrasi agregat yaitu mesin Los Angeles, yang digunakan untuk mengetahui tingkat abrasi dari suatu agregat,

saringan standar untuk mengevaluasi gradasi agregat, dan oven dengan pengatur suhu sebagai alat pengering.

4. Peralatan Pengujian Aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi; alat pengujian penetrasi aspal, alat pengujian berat jenis aspal yaitu piknometer dan timbangan, alat pengujian titik nyala dan titik bakar aspal, alat pengujian titik lembek aspal, dan alat pengujian kelarutan aspal yang dipakai.

5. Peralatan Pengujian Marshall

Alat pengujian yang digunakan adalah seperangkat alat untuk *Marshall Test*, meliputi :

- 1) Mesin tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan yang berbentuk lengkung, cincin penguji 3000 kg yang dilengkapi dengan arloji penguji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,2 cm) dengan tinggi 3 inchi (7,5 cm) untuk *Marshall* dan diameter 6 inchi (15,24 cm) dengan tinggi 3,7 inchi (9,52 cm) untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan pelat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual dengan permukaan berbentuk silinder rata yang memiliki diameter 3,86 inchi (9,8 cm), berat 4,5 kg, dengan tinggi jatuh bebas 18 inchi (45,7 cm) untuk *Marshall* standar.
- 4) Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.

3.3 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang digunakan ada dua jenis, antara lain:

1. Data primer, adalah pengumpulan data dengan cara melakukan penelitian di laboratorium teknik Universitas Islam Sultan Agung. Adapun data primer yang didapatkan antara lain :
 - a. Gradasi Agregat.

- b. Berat Jenis Agregat.
 - c. Karakteristik *Marshall*.
 - d. Abrasi Agregat.
2. Data sekunder, yaitu data yang didapatkan dari perusahaan penyedia material yang sudah diuji di balai pengujian material. Adapun data sekunder yang didapatkan adalah aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60-70.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Melakukan studi literatur terhadap penelitian yang akan dilakukan.
2. Mempesiapkan bahan-bahan dan peralatan yang dipergunakan.
3. Melakukan pengujian terhadap material yang dipergunakan.
4. Merancang campuran AC-WC yang sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010.
5. Mencari Kadar Aspal Optimum dan Variasi Komposisi.
6. Membuat benda uji.
7. Melakukan pengujian terhadap benda uji dengan *Marshall Test* untuk mendapatkan nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ.
8. Analisa dan Pembahasan

Menganalisa hasil pengujian *Marshall Test* benda uji dari campuran plastik PET dan *bend tire* dan didapatkan parameter nilai (*Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ). Lalu menguraikan hasil analisa yang didapatkan dari pengujian yang dilakukan dengan grafik dan tabel terhadap parameter nilai karakteristik *marshall* (*Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ).

9. Kesimpulan dan Saran

Menarik Kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan yang sudah dilakukan dan menguraikan komposisi terbaik dari hasil pengujian yang sudah dilakukan.

3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material

3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Pemeriksaan agregat penting dilakukan untuk mendapatkan hasil campuran AC-WC yang konsisten, maka ada beberapa pemeriksaan yang harus dilakukan terhadap agregat yaitu :

1. Penyaringan agregat kasar dan halus dengan menerapkan analisa saringan untuk mendapatkan gradasi yang sesuai dengan mengacu pada AASHTO T47-82 atau (Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan 1990).
2. Pedoman yang dipakai dalam menentukan kategori-kategori perhitungan agregat yaitu AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008.
3. Kategori penanganan agregat harus disesuaikan dengan pedoman AASHTO T84-74 atau SNI 1970-2008.
4. Evaluasi sifat campuran dilakukan dengan metode uji *marshall* dengan pedoman SNI-06-2489-1991.
5. Prosedur menghitung jumlah total bahan yang melewati saringan No. 200 dilakukan dengan mengacu pada formulir pemeriksaan yang sesuai pada SNI 03-4142-1996.

3.5.2 Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan bahan aspal dilakukan untuk mengetahui karakteristik aspal yang digunakan sehingga campuran AC-WC yang dibuat dapat konsisten dan optimal. Pemeriksaan sifat fisis aspal meliputi :

1. Analisa pengujian penetrasi aspal.
2. Analisa pengujian titik lembek.
3. Analisa pengujian titik nyala dan titik bakar.
4. Analisa pengujian daktilitas.
5. Analisa pengujian berat jenis.

3.6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi aspal yang direncanakan yaitu plastik PET dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% dan kawat bendrat dengan variasi kadar 0%, 2%, dan 4% untuk masing-masing setiap campuran AC-WC modifikasi.

Tabel 3. 1 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 0% dan Kawat Bendrat 0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	0,0 %	0,0 gram
2.	Kawat Bendrat	0,0 %	0,0 gram

Tabel 3. 2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 0% dan Kawat Bendrat 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	0,0 %	0,0 gram
2.	Kawat Bendrat	2,0 %	1,392 gram

Tabel 3. 3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 0% dan Kawat Bendrat 4%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	0,0 %	0,0 gram
2.	Kawat Bendrat	4,0 %	2,784 gram

Tabel 3. 4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 2% dan Kawat Bendrat 0 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	2,0 %	1,392 gram
2.	Kawat Bendrat	0,0 %	0,0 gram

Tabel 3. 5 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 2% dan Kawat Bendrat 2 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	2,0 %	1,392 gram
2.	Kawat Bendrat	2,0 %	1,392 gram

Tabel 3. 6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 2% dan Kawat Bendrat 4 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	2,0 %	1,392 gram
2.	Kawat Bendrat	4,0 %	2,784 gram

Tabel 3. 7 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 4 % dan Kawat Bendrat 0 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	4,0 %	2,784 gram
2.	Kawat Bendrat	0,0 %	0,0 gram

Tabel 3. 8 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 4 % dan Kawat Bendrat 2 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	4,0 %	2,784 gram
2.	Kawat Bendrat	2,0 %	1,392 gram

Tabel 3. 9 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 4 % dan Kawat Bendrat 4 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	4,0 %	2,784 gram
2.	Kawat Bendrat	4,0 %	2,784 gram

Tabel 3. 10 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 6 % dan Kawat Bendrat 0 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	6,0 %	4,176 gram
2.	Kawat Bendrat	0,0 %	0,0 gram

Tabel 3. 11 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 6 % dan Kawat Bendrat 2 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	6,0 %	4,176 gram
2.	Kawat Bendrat	2,0 %	1,392 gram

Tabel 3. 12 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 6 % dan Kawat Bendrat 4 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	6,0 %	4,176 gram
2.	Kawat Bendrat	4,0 %	2,784 gram

Tabel 3. 13 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 8 % dan Kawat Bendrat 0 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	8,0 %	5,568 gram
2.	Kawat Bendrat	0,0 %	0,0 gram

Tabel 3. 14 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 8 % dan Kawat Bendrat 2 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	8,0 %	5,568 gram
2.	Kawat Bendrat	2,0 %	1,392 gram

Tabel 3. 15 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Kadar Plastik PET 8 % dan Kawat Bendrat 4 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	Medium Agregat (1/2)	25, 0 %	300,0 gram
4.	Coarse Agregat (3/4)	25,0 %	300,0 gram
5.	Filler	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200,0 gram
Bahan Modifikasi :			
1.	Plastik PET	8,0 %	5,568 gram
2.	Kawat Bendrat	4,0 %	2,784 gram

Tabel 3. 16 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal dengan Kadar Aspal 4,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	44,0 %	506,88 gram
2.	Pasir	3,0 %	34,56 gram
3.	Coarse Agregat (3/4)	12, 0 %	138,24 gram
4.	Medium Agregat (1/2)	40,0 %	460,8 gram
5.	Filler	1,0 %	11,52 gram
		100 %	1152,0 gram
Kadar Aspal :			
1.	Aspal PEN 60-70	4,5 %	54 gram

Tabel 3. 17 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal dengan Kadar Aspal 4,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	44,0 %	504,24 gram
2.	Pasir	3,0 %	34,38 gram
3.	Coarse Agregat (3/4)	12, 0 %	137,52 gram
4.	Medium Agregat (1/2)	40,0 %	458,4gram
5.	Filler	1,0 %	11,46 gram
		100 %	1146,0 gram
Kadar Aspal :			
1.	Aspal PEN 60-70	5 %	60 gram

Tabel 3. 18 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal dengan Kadar Aspal 5,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	44,0 %	501,6 gram
2.	Pasir	3,0 %	34,2 gram
3.	Coarse Agregat (3/4)	12, 0 %	136,8 gram
4.	Medium Agregat (1/2)	40,0 %	456,0 gram
5.	Filler	1,0 %	11,40 gram
		100 %	1140,0 gram
Kadar Aspal :			
1.	Aspal PEN 60-70	5,5 %	66 gram

Tabel 3. 19 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal dengan Kadar Aspal 6%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	44,0 %	498,96 gram
2.	Pasir	3,0 %	34,0 gram
3.	Coarse Agregat (3/4)	12, 0 %	136,1 gram
4.	Medium Agregat (1/2)	40,0 %	453,6 gram
5.	Filler	1,0 %	11,34 gram
		100 %	1134,0 gram
Kadar Aspal :			
1.	Aspal PEN 60-70	6 %	72 gram

Tabel 3. 20 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal dengan Kadar Aspal 6,5%

	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	44,0 %	493,68 gram
2.	Pasir	3,0 %	33,66 gram
3.	Coarse Agregat (3/4)	12, 0 %	134,64 gram
4.	Medium Agregat (1/2)	40,0 %	448,8 gram
5.	Filler	1,0 %	11,22 gram
		100 %	1122,0 gram
Kadar Aspal :			
1.	Aspal PEN 60-70	6,5 %	78 gram

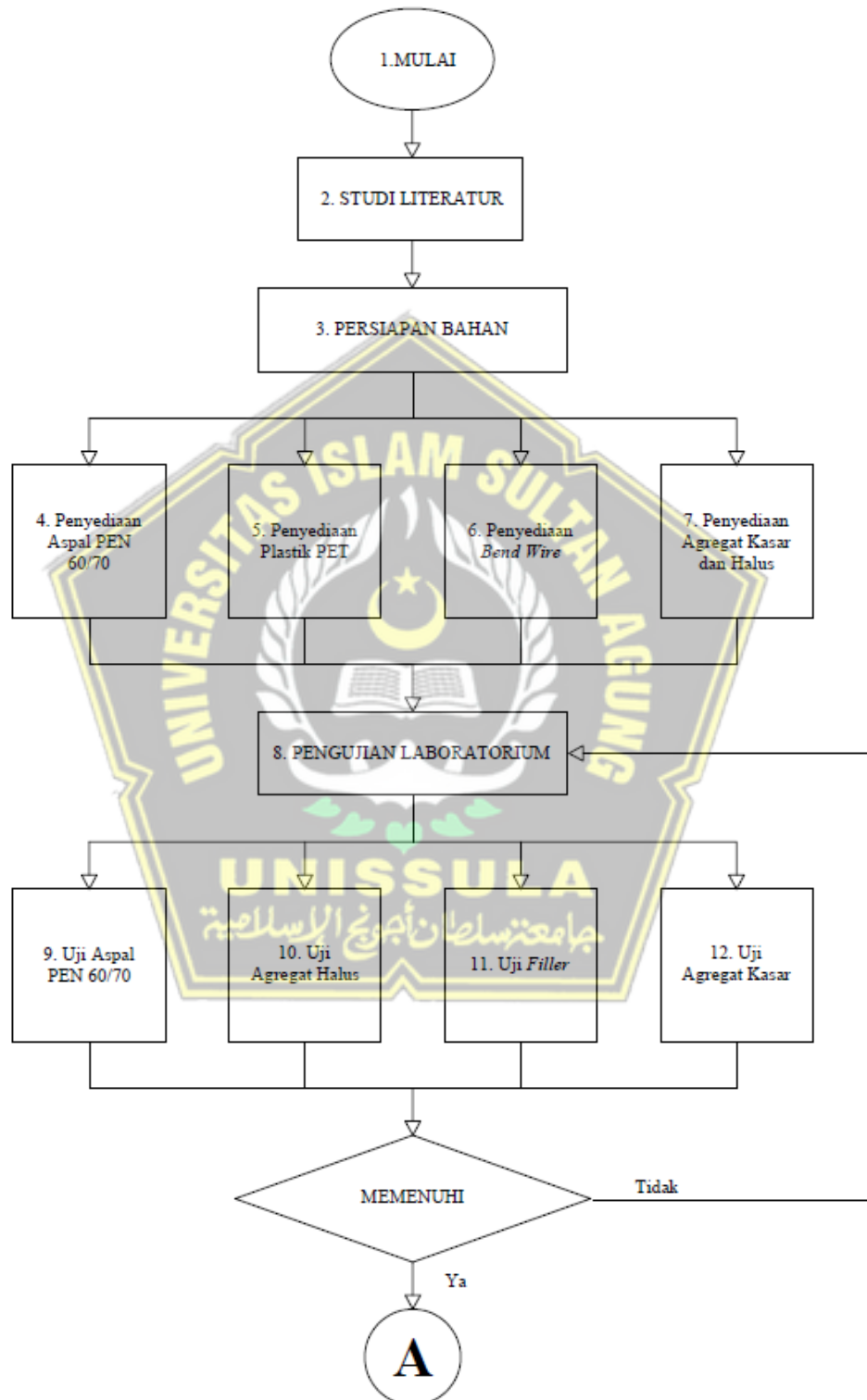
Masing-masing benda uji yaitu dibuat sebanyak 3 buah benda uji untuk perbandingan masing-masing dimana jika salah satu benda uji tidak memenuhi spesifikasi Teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan dua benda uji yang lain memenuhi spesifikasi Teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

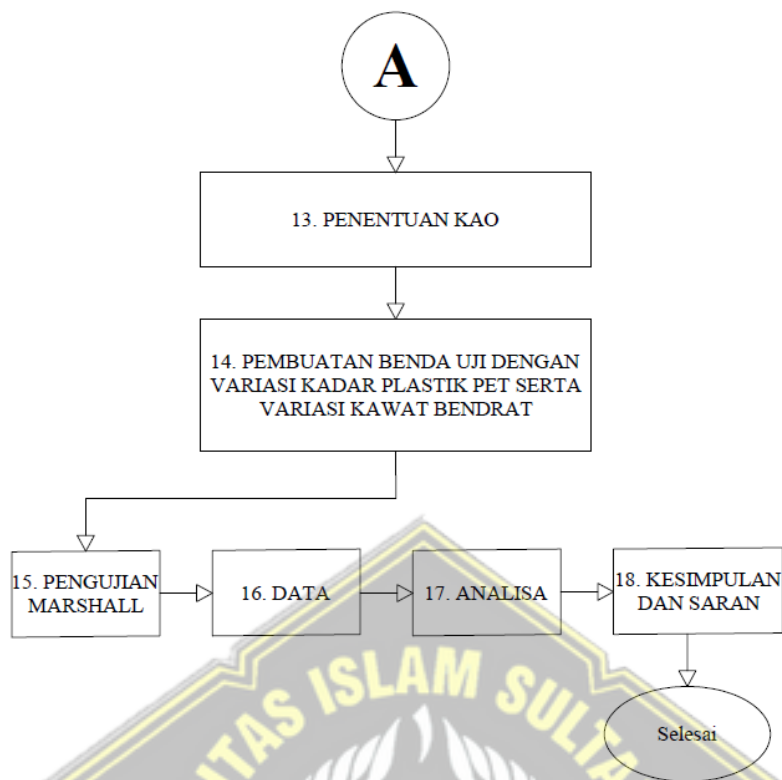
Tabel 3. 21 Perhitungan Jumlah Sampel Campuran AC-WC Modifikasi

Nama Sampel	Agg Batu 3/4"		Agg Batu 1/2"		Abu Batu		Pasir		Filler		Aspal		Total Agregat		Plastik PET		Bend Wire		Jumlah Sampel
	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	
KA4,5	137,52	12	458,4	40	504,24	44	34,38	3	11,46	1	54	4,5	1200	100	0	0	0	0	3
KA5	136,8	12	456	40	501,6	44	34,2	3	11,4	1	60	5	1200	100	0	0	0	0	3
KA5,5	131,6	12	453,6	40	498,96	44	34	3	11,34	1	66	5,5	1200	100	0	0	0	0	3
KA6	135,36	12	451,2	40	496,32	44	33,84	3	11,28	1	72	6	1200	100	0	0	0	0	3
KA6,5	134,36	12	448,8	40	493,68	44	33,66	3	11,22	1	78	6,5	1200	100	0	0	0	0	3
P0B0	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	0	0	0	0	3
P0B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	0	0	1,392	2	3
P0B4	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	0	0	2,784	4	3
P2B0	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	1,392	2	0	0	3
P2B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	1,392	2	1,392	2	3
P2B4	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	1,392	2	2,784	4	3
P4B0	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	2,784	4	0	0	3
P4B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	2,784	4	1,392	2	3
P4B4	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	2,784	4	2,784	4	3
P6B0	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	4,176	6	0	0	3
P6B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	4,176	6	1,392	2	3
P6B4	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	4,176	6	2,784	4	3
P8B0	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	5,568	8	0	0	3
P8B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	5,568	8	1,392	2	3
P8B4	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	5,568	8	2,784	4	3
Jumlah Sampel Kadar Aspal Optimum																			15
Jumlah Sampel Modifikasi																			45
Total Jumlah Sampel																			60

3.7 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir penelitian yang berisi tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian ini akan dijelaskan pada gambar berikut:





Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.8 Bagan Alir Program Kerja

Pada tahap awal dilakukan studi literatur dan pengolahan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian yang dilakukan. Bahan campuran aspal diperiksa untuk memastikan bahan yang digunakan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. *American Society for Testing Materials* (ASTM) Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah acuan standar pemeriksaan bahan dan alat yang harus dipatuhi. Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus antara lain:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan Agregat Kasar (Nasional 2008).
- b. Tingkat Keausan Agregat Kasar (SNI 2417- 2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (ASTM D 4791 2019).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (SNI-06-2439-1991).
- e. Uji Sifat Kekekalan Bentuk Agregat (Badan Standardisasi Nasional 2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1970 2008)
- g. Analisis Butiran (SNI-M-02-1994-03)

Untuk pemeriksaan sifat fisik bahan aspal PEN 60/70 yang digunakan sebagai bahan bitumen dalam penelitian ini antara lain:

- 1.) Pemeriksaan Penetrasi Aspal (SNI-06-2456-1991)
- 2.) Pemeriksaan Titik Lembek (SNI-06-2434-1991)
- 3.) Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI-06-2433-1991)
- 4.) Pemeriksaan Daktililitas (SNI-06-2432-1991)
- 5.) Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen (SNI-06-2441-1991)

Tahap berikutnya adalah melakukan perancangan campuran aspal atau *job mix design* dan membuat benda uji yang akan diteliti dengan metode *Marshall* setelah semua bahan yang digunakan dalam campuran aspal termasuk aspal yang digunakan, agregat kasar, dan agregat halus telah dilakukan pemeriksaan dan sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pengujian benda uji dengan metode *Marshall* sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, dan ASTM D-2042-76). Setelah dilakukan pengujian terhadap benda uji aspal normal

maka didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Perhitungan jumlah sampel dan variasi kadar Plastik PET dan kawat bendrat sebagai berikut:

Suhu pencampuran umumnya ditemukan antara 145 dan 155 derajat Celcius, dan suhu pemadatan ditemukan antara 110 dan 135 derajat Celcius hal ini dikarenakan tidak dilakukannya pengujian viskolitas kinematis aspal, menggunakan palu pemadatan *marshall* pemadatan dilakukan dua kali untuk setiap 75 kali penumbukan. Benda uji lalu disimpan dalam suhu ruangan sebelum nantinya ditimbang kering dan dilakukan pengukuran terhadap tinggi dan diameternya, selanjutnya benda uji direndam selama 24 jam sebelum ditimbang dalam air dan permukaan kering jenuh untuk mendapatkan volume bituminous (densitas, VIM, VMA, dan VFA). Selanjutnya benda uji direndam selama 30 menit dalam *water bath* pada suhu 60 derajat celcius yang setelahnya dilakukan pengujian menggunakan alat *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas, kelelahan plastis, dan *Marshall Quotient*.

Setelah dilakukan serangkaian pengujian dan pemeriksaan, maka didapatkan data yang selanjutnya akan dilakukan tahapan sebagai berikut:

- a. Menganalisis hasil pemeriksaan bahan campuran aspal antara lain agregat dan aspal untuk memastikan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga tahun 2018
- b. Menampilkan data nilai stabilitas, kelelahan, *Marshall Quotient*, *Void In Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA)

3.9 Prosedur Kerja

3.9.1. Perencanaan Campuran (*Job Mix Design*)

Dalam perencanaan campuran, komposisi dan jumlah sampel yang akan dibuat didasarkan pada gradasi agregat yang digunakan. Gradasi menerus merupakan gradasi ideal yang digunakan dalam penelitian ini. Tahap yang dilakukan sebelum pencampuran adalah melakukan analisa saringan dari setiap fraksi agregat. Komposisi campuran agregat didasarkan pada proporsi *fine aggregate* dan *coarse aggregate*.

3.9.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Menyiapkan peralatan dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian. Kemudian dilakukan penimbangan terhadap masing-masing bahan dengan presentase yang sudah ditetapkan dalam perancangan campuran (*Job Mix Design*).
2. Melakukan pencampuran benda uji. Agregat dan aspal yang sudah ditimbang kemudian dilakukan pencampuran pada suhu 150 °C dan diaduk agar seluruh agregat terlapisi oleh aspal. Total berat dari benda uji adalah ± 1200 gram yang terdiri dari agregat dan aspal. Setelah telah tercampur, benda uji akan dituang kedalam cetakan dengan ukuran 63,5 mm $\pm$ 1,27 mm (2,5 $\pm$ 0,05 inc).
3. Pemadatan benda uji
 - Membersihkan perlengkapan cetakan yang akan digunakan.
 - Meletakkan cetakan ke atas alas pemadat.
 - Meletakkan kertas saring dengan ukuran cetakan di bawah alas cetakan.
 - Memasukkan campuran ke dalam cetakan dan dipadatkan dengan tusukan sebanyak 15 kali pada pinggiran cetakan dan 10 kali pada bagian tengah cetakan.
 - Meletakkan kertas saring ke atas cetakan dengan ukuran yang sudah disesuaikan dengan cetakan.
 - Melakukan penumbukan sebanyak 75 kali di sisi atas dan sisi bawah cetakan menggunakan alat penumbuk.
 - Diamkan cetakan selama beberapa saat sampai temperatur benda uji turun. Kemudian keluarkan benda uji menggunakan alat *Extruder* dan letakkan pada permukaan yang rata serta beri kode benda uji lalu diamkan dalam suhu ruangan selama 24 jam.

3.9.3. Metode Pengujian Sampel

Pengujian *Marshall test* menggunakan prosedur RSNI M-01-2003

1. Alat uji *Marshall*, perangkat uji listrik yang beroperasi dengan daya 220 volt dan dirancang untuk memberikan beban pada sampel dalam pengujian semi-circular testing head dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inci) per menit. Untuk mengukur

stabilitas pada beban pengujian maksimum, alat ini dilengkapi dengan proving ring dan arloji tekan. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan flow meter atau arloji kelelahan yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan pada beban pengujian tertinggi.

2. *Water Bath*, alat yang dilengkapi dengan pengaturan suhu minimal 20°C, kedalaman 150 mm (6 inci), serta dilengkapi rak bagian bawah setinggi 50 mm.
3. *Thermometer*, Alat pengukur suhu yang mampu menahan suhu sampai $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

Setelah uji *Marshall* test dilakukan, lalu dilanjutkan dengan analisa perhitungan untuk mendapatkan:

1. Berat volume benda uji.
2. *Marshall Quotient*.
3. Volume pori dalam benda uji.
4. Volume antara agregat dalam benda uji.
5. Volume agregat yang terisi oleh aspal.
6. Stabilitas.
7. Kelelahan.

3.10 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Bahan Perkerasan UNISSULA dengan melakukan percobaan terhadap bahan baku aspal, agregat proses penelitian dilaksanakan dalam 18 (Delapan Belas) tahap sebagai berikut:

- 1.) Memulai penelitian yang akan dilakukan.
- 2.) Melakukan studi literatur dan mengumpulkan data mengenai peneletian yang akan dilakukan, antara lain mengenai perkerasan jalan, perkerasan lapis laston aus (AC-WC), Plastik PET, *Bend Wire*, dan lain sebagainya.
- 3.) Melakukan persiapan alat yang digunakan untuk menunjang penelitian antara lain; alat pengujian aspal, alat pengujian agregat, alat uji *marshall*, dan lain sebagainya. Selain itu juga menyiapkan bahan yang akan digunakan dalam penelitian antara lain aspal PEN 60/70, agregat, filler, abu batu, plastik PET, *bend wire*, dan lain sebagainya. Serta menyiapkan formulir pengujian guna untuk mengelola hasil pengujian.

- 4.) Menyediakan aspal dengan jenis Aspal PEN 60/70 yang akan digunakan sebagai bitumen dalam penelitian ini.
- 5.) Menyediakan Plastik PET yang digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) terhadap campuran AC-WC. Kadar Plastik PET yang digunakan antara lain: 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari Kadar Aspal Optimum (KAO). Plastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang digunakan berasal dari cacahan botol plastik. Limbah cacahan botol plastik ini diperoleh dari limbah sampah botol air mineral yang berada di daerah Banyumanik, Kota Semarang.
- 6.) Menyediakan kawat bendrat yang digunakan untuk bahan tambah campuran aspal. Kawat bendrat yang digunakan yaitu dengan panjang 2 cm dan kadar variasi 0%, 2%, dan 4% terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO). Kawat bendrat didapatkan dari toko bangunan di Kota Semarang.
- 7.) Menyediakan agregat kasar yang berupa batu pecah dengan ukuran 3/4 sebagai *Coarse Aggregate* dan batu pecah dengan ukuran 1/2 sebagai *Medium Aggregate*. Agregat kasar diperoleh dari AMP (*Asphalt Mixing Plan*) PT. Mohandas Oeloeng Kendal. Dan juga menyediakan agregat halus yaitu pasir dan *filler*.
- 8.) Melakukan pengujian terhadap material yang akan digunakan, antara lain:
 - a.) Pengujian Aspal PEN 60/70.
 - b.) Pengujian agregat halus.
 - c.) Pengujian *filler*.
 - d.) Pengujian agregat kasar.
- 9.) Pengujian Aspal PEN 60/70 yang meliputi:
 - a.) Pengujian Penetrasi Aspal.
 - b.) Pengujian Titik Lembek.
 - c.) Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.
 - d.) Pengujian Daktilitas.
 - e.) Pengujian Berat Jenis.
- 10.) Pengujian Agregat halus yang meliputi:
 - a.) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
 - b.) Analisa Saringan.
- 11.) Pengujian *filler* yang berupa analisa saringan.

- 12.) Pengujian Agregat Kasar meliputi
 - a.) Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan Agregat Kasar.
 - b.) Tingkat Keausan Agregat Kasar.
 - c.) Partikel Pipih dan Lonjong.
 - d.) Analisa Saringan.
- 13.) Perancangan campuran (Mix Design) yang pertama. Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (mix design) dan pembuatan benda uji dengan kadar Aspal 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, untuk menentukan Kadar Aspal Optimum.
- 14.) Perancangan campuran dan pembuatan 45 benda uji dengan variasi kadar Plastik PET 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% serta variasi Kawat Bendrat 0%, 2%, dan 4%.
- 15.) Tes *Marshall* untuk mendapatkan hasil stabilitas, kelelahan dan *marshall quotient* dari benda uji dengan penambahan variasi kadar plastik PET dan kawat bendrat. Sebelum ini, benda uji telah ditimbang berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air untuk mendapatkan densitas, VIM, VMA, dan VFA.
- 16.) Setelah dilakukan pengujian *Marshall Test* maka dapat diambil data yang akan dianalisa untuk mendapatkan nilai parameter marshall.
- 17.) Data yang sudah didapatkan dari pengujian *marshall* selanjutnya dianalisa untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan, plastis, VIM, VMA, VFA dan stabilitas *marshall* sisa.
- 18.) Setelah dilakukan inventarisasi dan analisa terhadap seluruh data pemeriksaan agregat, aspal, dan campuran beton aspal, diperoleh berbagai rekomendasi dan kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis, yang mencakup proses pembuatan sampel uji, pelaksanaan eksperimen laboratorium, penyusunan materi penelitian, serta evaluasi komposisi aspal. Pada tahap penyediaan bahan, material yang kami gunakan diambil dari PT. Mohandas Oeloeng Kendal, Semua proses pembuatan benda uji dan propertis material, uji aspal, dan pengujian marshall dilakukan di laboratorium transportasi jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1 Pengambilan Material

4.1.1 Analisa Saringan

Umumnya bertujuan untuk menentukan pembagian/gradasi butiran agregat, meliputi agregat kasar, medium, halus, dan filler. Jika gradasi agregat mempunyai ukuran yang seragam, maka terbentuk volume pori besar. Namun jika ukuran butiran bervariasi akan terbentuk volume pori kecil. Dikarenakan butiran yang ukurannya lebih kecil nantinya mengisi rongga yang terbentuk diantara pori yang besar, dan nantinya rongga porinya akan menjadi berkurang, dengan kata lain kemampatannya bertambah rapat. Berikut tabel mengenai perencanaan analisa saringan:

4.1.1.1 Agregat Kasar

Colarsel Agregat atau agrelgat kasar yang lolos saringan 1 ½ - ¾ dan tertahan mulai dari saringan ½ sampai delngan saringan #200, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19		-	100,00		-	100,00	
1/2"	12,5	860	28,66	71,34	739	24,65	75,35	73,35
3/8"	9,5	2.277	75,89	24,11	2.203	73,45	26,55	25,33
# 4	4,75	2.955	98,49	1,51	2.954	98,45	1,55	1,53
# 8	2,36	2.966	98,87	1,13	2.970	99,02	0,98	1,06
# 16	1,15	2.991	99,71	0,29	2.993	99,78	0,22	0,26
# 30	0,6	2.992	99,74	0,26	2.993	99,78	0,22	0,24
# 50	0,3	2.993	99,76	0,24	2.993	99,78	0,22	0,23
#100	0,15	2.993	99,76	0,24	2.993	99,78	0,22	0,23
# 200	0,075	2.993	99,76	0,24	2.993	99,78	0,22	0,23
Weight Of Sample (gr)		3.000			3.000			

4.1.1.2 Agregat Kasar Medium

Medium Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan 1 ½ - ½ dan tertahan mulai dari saringan 3/8 sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2**

Tabel 4. 2 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	324	21,59	78,41	306	20,37	79,63	79,02
# 4	4,75	995	66,32	33,68	1.042	69,44	30,56	32,12
# 8	2,36	1.404	93,60	6,40	1.414	94,24	5,76	6,08
# 16	1,15	1.469	97,92	2,08	1.459	97,28	2,72	2,40
# 30	0,6	1.471	98,10	1,90	1.465	97,64	2,36	2,13
# 50	0,3	1.474	98,28	1,72	1.472	98,15	1,85	1,79
#100	0,15	1.479	98,58	1,42	1.478	98,54	1,46	1,44
# 200	0,075	1.485	98,97	1,03	1.491	99,37	0,63	0,83
Weight Of Sample (gr)		1.500			1.500			

4.1.1.3 Agregat Halus (Pasir)

Agrelgat Halus yang lolol saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri Abu Batu dapat dilihat pada **Tabel 4.3**

**Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)**

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75		-	100,00		-	100,00	100,00
# 8	2,36	40	8,04	91,96	40	8,04	91,96	91,96
# 16	1,15	90	17,94	82,06	86	17,20	82,80	82,43
# 30	0,6	210	42,06	57,94	205	41,06	58,94	58,44
# 50	0,3	312	62,36	37,64	309	61,76	38,24	37,94
#100	0,15	408	81,50	18,50	411	82,10	17,90	18,20
# 200	0,075	479	95,84	4,16	475	95,04	4,96	4,56
Weight Of Sample (gr)		500			500			

4.1.1.4 Agregat Halus (Abu Batu)

Agrelgat Halus yang lolol saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri Abu Batu dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

**Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)**

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75	-	-	100,00		-	100,00	100,00
# 8	2,36	121	24,13	75,87	106	21,30	78,70	77,29
# 16	1,15	259	51,86	48,14	250	50,06	49,94	49,04
# 30	0,6	348	69,66	30,34	341	68,16	31,84	31,09
# 50	0,3	368	73,57	26,43	381	76,29	23,71	25,07
#100	0,15	418	83,55	16,45	424	84,76	15,24	15,85
# 200	0,075	460	92,08	7,92	460	91,92	8,08	8,00
Weight Of Sample (gr)		500			500			

4.1.1.5 Filler

Filler yang digunakan adalah semen portland, yang lolos saringan #8 sampai #100 dan tertahan mulai dari saringan #200, yang akan dapat dilihat pada **Tabel 4.5**

**Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)**

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75		-	100,00		-	100,00	100,00
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 50	0,3	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
#100	0,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 200	0,075	1,10	1,10	98,90	1,30	1,30	98,70	98,80
Weight Of Sample (gr)		100,00			100,00			

4.1.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pengujian bahan yang digunakan pada campuran lapis aspal beton dengan pen. 60/70, berdasarkan hasil uji laboratorium didapat hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 4.6** sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Hasil uji sifat fisik agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat kasar				
1	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	3,59%	Memenuhi
2	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,24%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar ½ b. Agregat kasar ¾	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	2,3% 2,18%	Memenuhi
4	Beirat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat kasar 1/2 b. Agregat kasar ¾	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5%	2,77% 2,69%	Memenuhi

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
B	Agregat halus				
1	Material lolos saringan no.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	1,03%	Memenuhi
2	Penyebaran air oleh agregat a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	2,58% 2,27%	Memenuhi
3	Beirat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5%	2,61% 2,54%	Memenuhi

4.1.3 Hasil Pemeriksaan Aspal

Hasil pengujian bahan aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini yaitu aspal AC pen 60/70, didapat hasil sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 4.7** sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Hasil pengujian karateristik aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal PEN 60/70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65,7	SNI-06-2456-1991	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	51.55	SNI-06-2434-1991	Memenuhi
3	Titik Nyala (<i>Cleaveland Open Cup</i>)	°C	Min 200	-	314	SNI-06-2433-1991	Memenuhi
4	Daktilitas	cm	Min. 100	-	151.5	SNI-06-2432-1991	Memenuhi
5	Berat Jenis	%	Min. 1,0	-	1.035	SNI-06-2432-1991	Memenuhi

4.2 Hasil Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran $\frac{1}{2}$ sampai dengan # 200, yang

terdiri dari Agregat kasar, Agregat medium, Pasir, Abu batu dan Filler. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Tabel 4.8**

Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968 1990 /AASHTO T.27-88)

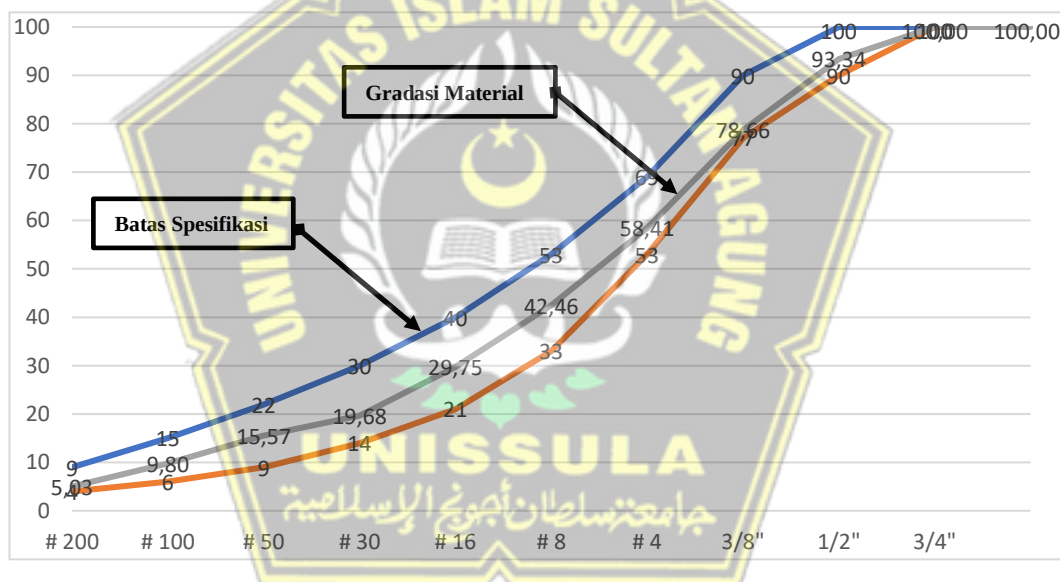
Uraian			1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inch			25	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
mm													
Data Material													
Batu Pecah Max 3/4'			100,00	100,00	73,35	35,64	1,53	1,06	0,26	0,24	0,23	0,23	0,00
Batu Pecah Max 1/2'			100,00	100,00	100,00	79,02	32,12	6,08	2,40	2,13	1,79	1,44	0,83
Abu Batu			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	77,29	49,04	31,09	25,07	15,85	8,00
Pasir			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,96	82,43	82,43	58,44	37,94	4,56
Filler Semen			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,80
Buton Granular Aspal			100	100	100	100	100	100	100	51,29	35,98	12,14	5,25
Komposisi Campuran													
Batu Pecah Max 3/4'	25,00%	25,00	25,00	18,34	8,91	0,38	0,26	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00
Batu Pecah Max 1/2'	25,00%	25,00	25,00	25,00	19,76	8,03	1,52	0,60	0,53	0,45	0,36	0,21	
Abu Batu	40,00%	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	30,91	19,62	12,44	10,03	6,34	3,20	
Pasir	3,00%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,76	2,47	2,47	1,75	1,14	0,14	
Filler Semen	1,20%	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,19	
Aspal	5,8%	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	2,97482	2,08684	0,70412	0,3045	
Total Campuran			100,00	100,00	93,34	78,66	58,41	42,46	29,75	19,68	15,57	9,80	5,03
Spesifikasi Gradasi													
Max			100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min			100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi													
max			100,00		100,00	88,50	66,00	46,00	33,50	25,00	18,50	12,50	7,50
min			95,00		90,00	78,50	56,00	40,00	27,50	19,00	12,50	8,50	5,50
Luas Permukaan Agregat			5,55										

Tabel 4. 9 Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Prosentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
# 200	5,03	2	7
# 100	9,80	5	12
# 50	15,57	8	18
# 30	19,68	12	25
# 16	29,75	23	35
# 8	42,46	33	48
# 4	58,41	50	65
3/8"	78,66	70	80

No. Saringan	Prosentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
1/2"	93,34	85	95
3/4"	100,00	100	100
1"	100,00	100	100

Dari Tabel 4.9 hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, bisa dilihat pada **Grafik 4.1** Kombinasi Agregat.



Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat

Berdasarkan hasil **Tabel 4.9** material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Mohandas Oeloeng Kendal Setelah dilakukan pengujian hasilnya semua material memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka agregat dapat digunakan sebagai campuran aspal AC-WC. Untuk filler yang digunakan adalah material semen Portland (PC).

Jika tidak memenuhi persyaratan maka tidak dapat digunakan sebagai material atau diganti dengan material lain yang kemudian diuji dengan hasil sesuai dengan spesifikasi teknis.

4.3 Pengujian Berat Jenis Aspal Komposisi Normal

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal ada 5 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dengan benda uji Maximum *specific gravity* (GMM) sebanyak 2 buah.

Tabel 4. 10 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum komposisi Normal

No.	Normal			Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Berat Botol + Contoh		gr	2.209	2.208	2.309	2.312	2.564	2.549	2.677	2.598	2.576	2.543
2	Berat Botol		gr	648	616	648	648	648	648	648	648	648	648
3	Berat Contoh	(1 - 2)	gr	1.561	1.592	1.661	1.664	1.916	1.901	2.029	1.950	2.029	1.950
4	Berat Botol+Contoh+Air(batas kaliberasi		gr	4.057	4.071	4.107	4.110	4.252	4.241	4.305	4.259	4.303	4.258
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		gr	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125
6	Berat air	(4 - 5)	gr	928	946	982	985	1.127	1.116	1.180	1.134	1.178	1.133
7	Volume contoh	(3 - 6)	gr	633	646	679	679	789	785	849	816	851	817
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	gr/cc	2,466	2,464	2,446	2,451	2,428	2,422	2,390	2,390	2,384	2,387
9	Temperatur air T °C		gr	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		gr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	gr/cc	2,466	2,465	2,446	2,451	2,428	2,422	2,390	2,390	2,384	2,387
Rata - rata GMM				2,466		2,448		2,425		2,390		2,386	
Variasi Kadar Aspal %				4,50%		5,00%		5,50%		6,00%		6,50%	

Berdasarkan hasil dari **Tabel 4.10** pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,46 gr/cc.

4.4 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994)

Kadar aspal dalam campuran adalah banyaknya aspal dalam campuran beraspal yang diperbolehkan dengan cara ekstraksi menggunakan alat refluk ekstraktor. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kadar aspal dalam suatu campuran (agregat + aspal) yang akan digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan.

Tabel 4. 11 Pengujian Ekstraksi

NO	URAIAN PEMERKSAAN	Rumus	Benda uji	SAT
A	Berat Pan / Cawan		105.6	gr
B	Berat Mater ial + Pan Sebelum		548,35	gr

NO	URAIAN PEMERKSAAN	Rumus	Benda uji	SAT
C	Berat Material + Pan Sesudah		529,15	gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi	(B - A)	442,75	gr
E	Berat Setelah Ekstraksi	(C - A)	423,55	gr
F	Berat Kertas Filter		6,5	gr
G	Berat Total Mineral	(C - A - F)	417,05	gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D - G)	25,7	gr
I	Persen Aspal Dalam Campuran	(H / D x 100)	5.80	%

Berdasarkan **Tabel 4.11** hasil dari pengujian kadar aspal dan ekstraksi digunakan sebagai penentuan kadar aspal optimum sebesar 5,80%. Hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik *marshall* sesuai dengan spesifikasi bina marga 2018 revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi.

4.4.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

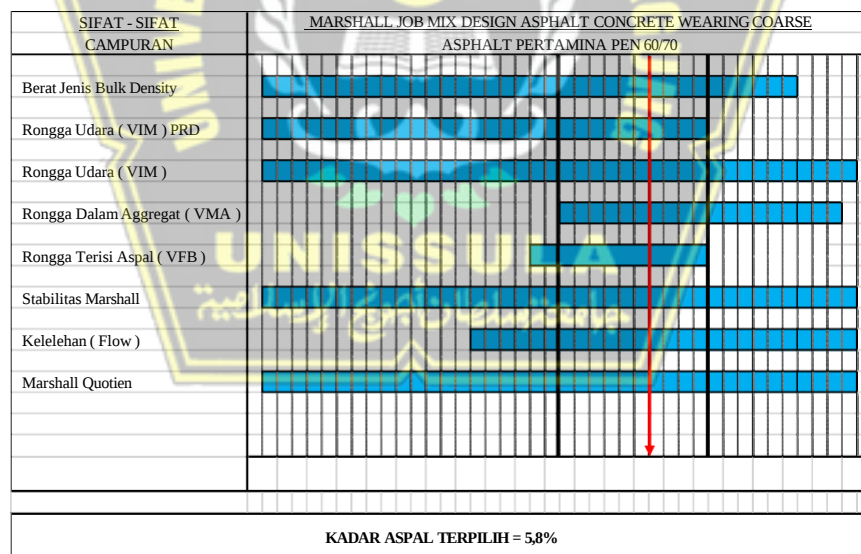
Dalam penelitian ini, kadar aspal optimum (KAO) ditetapkan pada nilai-nilai 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%, sesuai dengan enam kriteria esensial yang diuraikan dalam standar bina marga. Parameter-parameter yang diacu dalam menentukan KAO ini meliputi: stabilitas, aliran (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), volume rongga yang diisi aspal (VFA), volume rongga dalam campuran (VIM), serta volume rongga dalam agregat (VMA).

Tabel 4. 12 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)
Spesifikasi	Min	800	3	250	3	15	65
	Maks	-	-	-	5	-	-
4,5		2896.02	2.30	1259.14	6.14	15.09	59.33
		2797.85	2.40	1165.77	5.65	14.65	61.41
		2856.75	2.15	1328.72	5,89	14.86	60.37
Rata-Rata		2850.20	2.28	1248.26	5,89	14.87	60.37
5		3190.53	2.80	1139.47	5,07	16.30	68.88
		3043.27	2.90	1049.40	5.00	16.24	69.23
		3141.44	2.70	1163.50	5.11	16.34	68.71
Rata-Rata		3125.08	2.80	1116.10	5.06	16.29	68.94

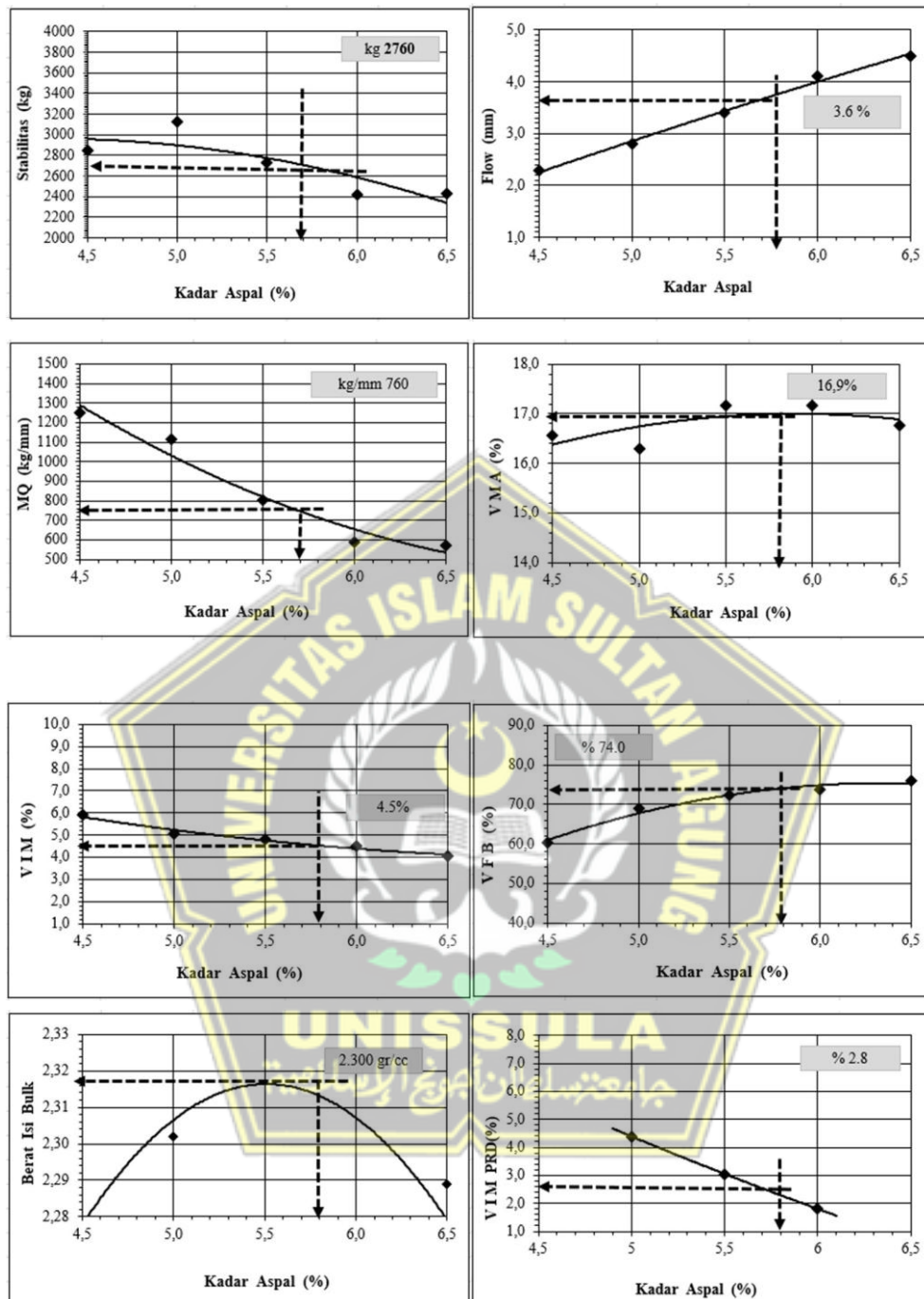
5,5	2748.76	3.30	832.96	5.00	17.45	71.33
	2699.68	3.50	771.34	4.68	17.18	72.73
	2738.94	3.40	805.57	4.67	17.17	72.79
Rata-Rata	2729.13	3.40	802.68	4.79	17.27	72.28
6	2414.98	4.00	603.75	4.62	17.26	73.24
	2385.53	4.20	567.98	4.10	16.81	75.61
	2454.25	4.10	598.60	4.79	17.41	72.48
Rata-Rata	2418.25	4.10	589.82	4.50	17.16	73.78
6.5	2385,53	4,60	518,59	4,06	16,78	75,82
	2444,43	4,50	543,21	4,07	16,79	75,75
	2454,25	4,40	557,78	4,02	16,75	76,01
Rata-Rata	2428,07	4,50	569,57	4,05	16,77	75,86

Berdasarkan **Tabel 4.12** hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum diperoleh pada kadar aspal 5,8% sedangkan untuk kadar aspal efektif pada kadar 5,5% dan 6%. Hal tersebut berdasarkan nilai rongga udara (VIM) dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *marshall* diatas yang memenuhi spesifikasi binamarga dengan nilai 3.00 – 5.00.



Gambar 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari Grafik berikut menunjukkan bahwa hasil dari *Bulk Density*, VIM, VMA, Stabilitas, VMA, VFB, Flow, MQ, dan VIMPRD memiliki hasil kadar aspal optimum 5,8%.



Grafik 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.4.2 Ringkasan Hasil pengujian AC Wearing

Setelah didapatkan presentase dari setiap fraksi agregat dan aspal maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC – WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5,8%
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = $5,8\% \times 1200$ = 69,6 gr
- Berat total agregat = $(100 - 5,8)\% \times 1200$ = 1130,4 gr
- *Coarse Agg.* (1/2') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
- *Medium Agg.* (3/8') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
- Abu Batu = $40\% \times 1200$ gr = 480 gr
- Pasir = $3\% \times 1200$ = 36 gr
- *Filler* = $1,2\% \times 1200$ = 14,4 gr
- Total agregat = 1130,4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.13**

Tabel 4. 13 Komposisi Material AC-WC

Jenis Material	Komposisi	Berat	Kumulatif
<i>Course Agg.</i> (1/2')	25 %	300	300
<i>Medium Agg.</i> (3/8')	25 %	300	300
Abu Batu	40 %	516	1080
Pasir	3 %	36	1116
<i>Filler</i> Semen	1,2 %	14,4	1130,4
Aspal	5,8 %	69,6	1200

4.5 Pembuatan Benda Uji

Dari hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) didapatkan hasil kadar aspal terpilih sebesar 5,8% dan dengan modifikasi Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dan Kawat Bendrat. Terdapat 15 variasi dengan setiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji, sehingga benda yang dihasilkan sebanyak 45 sampel.

Tabel 4. 14 Rincian Benda Uji

No.	Variasi	Benda Uji
1	P0B0 (PET 0%, Bendrat 0%)	3
2	P0B2 (PET 0%, Bendrat 2%)	3
3	P0B4 (PET 0%, Bendrat 4%)	3
4	P2B0 (PET 2%, Bendrat 0%)	3
5	P2B2 (PET 2%, Bendrat 2%)	3
6	P2B4 (PET 2%, Bendrat 4%)	3
7	P4B0 (PET 4%, Bendrat 0%)	3

No.	Variasi	Benda Uji
8	P4B2 (PET 4%, Bendrat 2%)	3
9	P4B4 (PET 4%, Bendrat 4%)	3
10	P6B0 (PET 6%, Bendrat 0%)	3
11	P6B2 (PET 6%, Bendrat 2%)	3
12	P6B4 (PET 6%, Bendrat 4%)	3
13	P8B0 (PET 8%, Bendrat 0%)	3
14	P8B2 (PET 8%, Bendrat 2%)	3
15	P8B4 (PET 8%, Bendrat 4%)	3
TOTAL SAMPEL		45

Pada pembuatan benda uji setiap variasi dibuat 3 buah sampel untuk dilakukan perbandingan apabila salah satu sampel ada yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 sampel lainnya memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka dapat dibandingkan hasilnya dari ketiga sampel tersebut.

4.6 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi 15 variasi Plastik PET dan kawat bendrat dengan benda uji *Maximum specific gravity* (GMM) sebanyak 1 buah untuk masing – masing variasi.

Tabel 4. 15 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi

No.	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364
2	Berat Botol	Grm	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air	Grm	2.136	2.169	2.146	2.164	2.152	2.165	2.142	2.169	2.153	2.165
5	Berat botol + Air	Grm	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803
6	Berat air (4 - 5)	Grm	333	366	343	361	349	362	339	366	350	362
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	267	234	257	239	251	238	261	234	250	238
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,247	2,562	2,333	2,513	2,392	2,518	2,297	2,566	2,396	2,524
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,247	2,562	2,333	2,513	2,392	2,518	2,297	2,566	2,396	2,524
Rata - rata			2,405		2,423		2,455		2,432		2,460	
Variasi			P0B0		P0B2		P0B4		P2B0		P2B2	
No.	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364
2	Berat Botol	Grm	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air	Grm	2.153	2.168	2.158	2.152	2.157	2.160	2.159	2.163	2.155	2.163
5	Berat botol + Air	Grm	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803
6	Berat air (4 - 5)	Grm	350	365	355	349	354	357	356	360	352	360
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	250	235	245	251	246	243	244	240	248	240
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,404	2,549	2,451	2,390	2,439	2,469	2,461	2,500	2,423	2,502
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,404	2,549	2,451	2,390	2,439	2,469	2,461	2,500	2,423	2,502
Rata - rata			2,476		2,421		2,454		2,481		2,463	
Variasi			P2B4		P4B0		P4B2		P4B4		P6B0	

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364	1.364
2	Berat Botol		Grm	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2.160	2.155	2.153	2.162	2.158	2.157	2.156	2.159	2.161	2.153
5	Berat botol + Air		Grm	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803	1.803
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	357	352	350	359	355	354	353	356	358	350
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	243	248	250	241	245	246	247	244	242	250
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2,469	2,417	2,402	2,490	2,447	2,435	2,433	2,459	2,477	2,400
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,469	2,417	2,402	2,490	2,447	2,435	2,433	2,459	2,477	2,400
		Rata - rata		2,443		2,446		2,441		2,446		2,439	
		Variasi		P6B2		P6B4		P8B0		P8B2		P8B4	

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi dengan 15 variasi Plastik PET dan kawat bendrat dengan berat maksimum aspal adalah 2,566 gr/cc.

4.7 Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*

Setelah menetapkan formula campuran rancangan dan desain campuran untuk pekerjaan, penelitian ini melibatkan pembuatan 45 sampel uji aspal. Tiap sampel diukur beratnya dalam tiga kondisi berbeda: saat kering, setelah perendaman selama 24 jam, dan dalam kondisi *Saturated Surface-Dry* (SSD). Proses perendaman ini dilakukan dalam *waterbath* (pemanasan sampel dengan merendamnya dalam air yang sudah dipanaskan) pada suhu 60°C selama 30 menit, sebelum pengukuran berat berikutnya dilakukan. Untuk mendapatkan data mengenai stabilitas dan *flow* (kelelehan) sampel aspal, semua sampel yang telah direndam dalam *waterbath* perlu segera diuji dengan menggunakan alat uji Marshall.

Uji Marshall dilakukan dengan tujuan untuk mengukur parameter-parameter berikut: stabilitas, *flow*, MQ (Marshall Quotient), VMA (Void in Mineral Aggregates), VIM (Void in Mix), dan VFA (Void Filled Asphalt). Tabel yang disajikan di bawah ini menyediakan ringkasan hasil dari Uji Marshall tersebut. Tabel ini juga termasuk grafik yang menampilkan nilai-nilai untuk semua parameter Uji Marshall, termasuk VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ. Hasil-hasil ini sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2).

4.7.1 Hasil Pemeriksaan *Marshall Test* Modifikasi Plastik PET dan Bendrat

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji komposisi modifikasi plastik PET dan kawat bendrat dengan 15 variasi dan setiap variasi ada 3 benda uji. Dengan perolehan nilai marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.16**.

Tabel 4. 16 Hasil Marshall Modifikasi

Pengujian (modifikasi plastik dan kawat bedrat)														
BJ Aspal (' 1,035		J Efektif Total Agregat (Gse) 2,743				BJ Total Agg (Gsb) :			2,642	Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg.(vina)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
P0B0 BU 1	5,8	1069,0	611,1	1078,8	467,7	2,286	2,405	18,51	4,94	73,28	78	765,73	3,50	218,78
P0B0 BU 2	5,8	1097,0	627,4	1105,0	477,6	2,297	2,405	18,10	4,48	75,27	86	844,26	3,20	263,83
P0B0 BU 3	5,8	1162,0	661,2	1166,2	505,0	2,301	2,405	17,96	4,31	76,02	81	795,18	4,15	191,61
Rata-rata	5,8					2,295	2,405	18,19	4,58	74,86	81,67	801,72	3,62	221,67
P0B2 BU 1	5,8	1127,4	647,6	1132,6	485,0	2,325	2,423	17,12	4,05	76,33	80	785,36	3,50	224,39
P0B2 BU 2	5,8	1099,4	636,6	1111,0	474,4	2,317	2,423	17,37	4,34	75,00	85	834,45	3,20	260,76
P0B2 BU 3	5,8	1140,8	657,8	1151,4	493,6	2,311	2,423	17,60	4,60	73,84	90	883,53	4,00	220,88
Rata-rata	5,8					2,318	2,423	17,36	4,33	75,06	85,00	834,45	3,57	233,96
P0B4 BU 1	5,8	1148,8	667,4	1156,2	488,8	2,350	2,455	16,20	4,27	73,64	90	883,53	3,30	267,74
P0B4 BU 2	5,8	1166,8	677,4	1173,0	495,6	2,354	2,455	16,06	4,10	74,44	87	854,08	3,50	244,02
P0B4 BU 3	5,8	1143,0	666,5	1151,6	485,1	2,356	2,455	15,99	4,03	74,81	85	834,45	3,70	225,53
Rata-rata	5,8					2,354	2,455	16,08	4,13	74,30	87,33	857,35	3,50	244,96
P2B0 BU 1	5,8	1137,0	663,6	1150,0	486,4	2,338	2,432	16,65	3,87	76,76	88	863,90	3,20	269,97
P2B0 BU 2	5,8	1182,0	687,5	1199,0	511,5	2,311	2,432	17,61	4,97	71,78	85	834,45	4,10	203,52
P2B0 BU 3	5,8	1116,0	647,6	1127,0	479,4	2,328	2,432	17,00	4,27	74,89	83	814,81	3,30	246,91
Rata-rata	5,8					2,325	2,432	17,09	4,37	74,48	85,33	837,72	3,53	237,09

P2B2 BU 1	5,8	1144,0	672,6	1158,0	485,4	2,357	2,460	15,97	4,20	73,69	90	883,53	3,20	276,10
P2B2 BU 2	5,8	1114,0	655,1	1126,0	470,9	2,366	2,460	15,65	3,84	75,46	97	952,25	2,70	352,68
P2B2 BU 3	5,8	1132,0	661,4	1141,0	479,6	2,360	2,460	15,84	4,06	74,38	88	863,90	3,40	254,09
Rata-rata	5,8					2,361	2,460	15,82	4,03	74,51	91,67	899,89	3,10	290,29
P2B4 BU 1	5,8	1199,0	705,2	1211,0	505,8	2,371	2,476	15,48	4,27	72,39	87	854,08	3,20	266,90
P2B4 BU 2	5,8	1157,0	682,2	1168,0	485,8	2,382	2,476	15,08	3,82	74,64	100	981,70	2,70	363,59
P2B4 BU 3	5,8	1168,0	685,8	1177,0	491,2	2,378	2,476	15,22	3,98	73,86	97	952,25	3,20	297,58
Rata-rata	5,8					2,377	2,476	15,26	4,03	73,63	94,67	929,34	3,03	306,38
P4B0 BU 1	5,8	1167,0	675,3	1177,6	502,3	2,323	2,421	17,16	4,02	76,56	87	854,08	3,20	266,90
P4B0 BU 2	5,8	1202,0	691,4	1209,6	518,2	2,320	2,421	17,30	4,18	75,84	88	863,90	2,80	308,53
P4B0 BU 3	5,8	1170,0	676,6	1179,2	502,6	2,328	2,421	17,00	3,83	77,45	105	1030,79	4,00	257,70
Rata-rata	5,8					2,324	2,421	17,15	4,01	76,62	93,33	916,25	3,33	274,88
P4B2 BU 1	5,8	1196,0	695,8	1203,8	508,0	2,354	2,454	16,06	4,06	74,69	105	1030,79	2,00	515,39
P4B2 BU 2	5,8	1158,0	679,4	1170,6	491,2	2,357	2,454	15,94	3,94	75,31	96	942,43	2,50	376,97
P4B2 BU 3	5,8	1156,0	675,8	1166,6	490,8	2,355	2,454	16,02	4,02	74,89	110	1079,87	3,30	327,23
Rata-rata	5,8					2,356	2,454	16,01	4,01	74,96	103,67	1017,70	2,60	391,42
P4B4 BU 1	5,8	1177,0	693,8	1187,9	494,1	2,382	2,481	15,07	3,97	73,67	110	1079,87	2,20	490,85
P4B4 BU 2	5,8	1200,0	708,2	1211,8	503,6	2,383	2,481	15,04	3,94	73,82	100	981,70	3,50	280,49
P4B4 BU 3	5,8	1153,0	684,8	1169,0	484,2	2,381	2,481	15,10	4,00	73,49	105	1030,79	2,00	515,39
Rata-rata	5,8					2,382	2,481	15,07	3,97	73,66	105,00	1030,79	2,57	401,60
P6B0 BU 1	5,8	1149,0	675,4	1157,4	482,0	2,384	2,463	15,01	3,20	78,66	135	1325,30	3,15	420,73
P6B0 BU 2	5,8	1156,8	674,6	1160,4	485,8	2,381	2,463	15,10	3,31	78,09	116	1138,77	3,70	307,78
P6B0 BU 3	5,8	1163,6	680,3	1171,6	491,3	2,368	2,463	15,55	3,83	75,39	137	1344,93	2,50	537,97
Rata-rata	5,8					2,378	2,463	15,22	3,45	77,38	129,33	1269,67	3,12	407,38
P6B2 BU 1	5,8	1174,6	687,4	1185,4	498,0	2,359	2,443	15,90	3,46	78,22	137	1344,93	3,00	448,31
P6B2 BU 2	5,8	1153,0	673,4	1163,2	489,8	2,354	2,443	16,07	3,65	77,27	155	1521,64	2,70	563,57
P6B2 BU 3	5,8	1126,6	658,8	1134,6	475,8	2,368	2,443	15,58	3,09	80,17	138	1354,75	2,50	541,90
Rata-rata	5,8					2,360	2,443	15,85	3,40	78,55	143,33	1407,10	2,73	514,79

P6B4 BU 1	5,8	1174,6	689,6	1186,8	497,2	2,362	2,446	15,77	3,41	78,39	140	1374,38	2,80	490,85
P6B4 BU 2	5,8	1170,8	686,8	1184,6	497,8	2,352	2,446	16,14	3,84	76,23	150	1472,55	3,00	490,85
P6B4 BU 3	5,8	1178,2	692,6	1187,4	494,8	2,381	2,446	15,10	2,64	82,51	162	1590,35	2,50	636,14
Rata-rata	5,8					2,365	2,446	15,67	3,30	79,04	150,67	1479,09	2,77	534,61
P8B0 BU 1	5,8	1172,6	688,6	1184,4	495,8	2,365	2,441	15,67	3,11	80,15	135	1325,30	3,15	420,73
P8B0 BU 2	5,8	1126,0	658,3	1132,6	474,3	2,374	2,441	15,35	2,74	82,12	140	1374,38	3,50	392,68
P8B0 BU 3	5,8	1200,0	701,4	1208,8	507,4	2,365	2,441	15,68	3,11	80,13	120	1178,04	3,00	392,68
Rata-rata	5,8					2,368	2,441	15,57	2,99	80,80	131,67	1292,57	3,22	401,84
P8B2 BU 1	5,8	1180,6	686,0	1186,2	500,2	2,360	2,446	15,85	3,51	77,86	145	1423,47	3,50	406,70
P8B2 BU 2	5,8	1172,6	684,0	1176,6	492,6	2,380	2,446	15,13	2,68	82,26	140	1374,38	5,00	274,88
P8B2 BU 3	5,8	1165,8	685,0	1175,0	490,0	2,379	2,446	15,17	2,73	81,98	140	1374,38	4,65	295,57
Rata-rata	5,8					2,373	2,446	15,38	2,97	80,70	141,67	1390,74	4,38	317,28
P8B4 BU 1	5,8	1185,8	693,2	1191,8	498,6	2,378	2,439	15,20	2,48	83,71	162	1590,35	4,00	397,59
P8B4 BU 2	5,8	1199,0	702,2	1209,4	507,2	2,364	2,439	15,71	3,06	80,51	140	1374,38	6,00	229,06
P8B4 BU 3	5,8	1135,2	668,8	1146,8	478,0	2,375	2,439	15,32	2,61	82,94	145	1423,47	6,10	233,35
Rata-rata	5,8					2,372	2,439	15,41	2,72	82,39	149,00	1462,73	5,37	272,56

Dari **Tabel 4.16** Menunjukkan hasil dari pengujian *marshall* bervariasi sesuai dengan presentase komposisinya. Untuk hasil parameternya dapat dilihat dari grafik hasil pengujian di bawah ini.



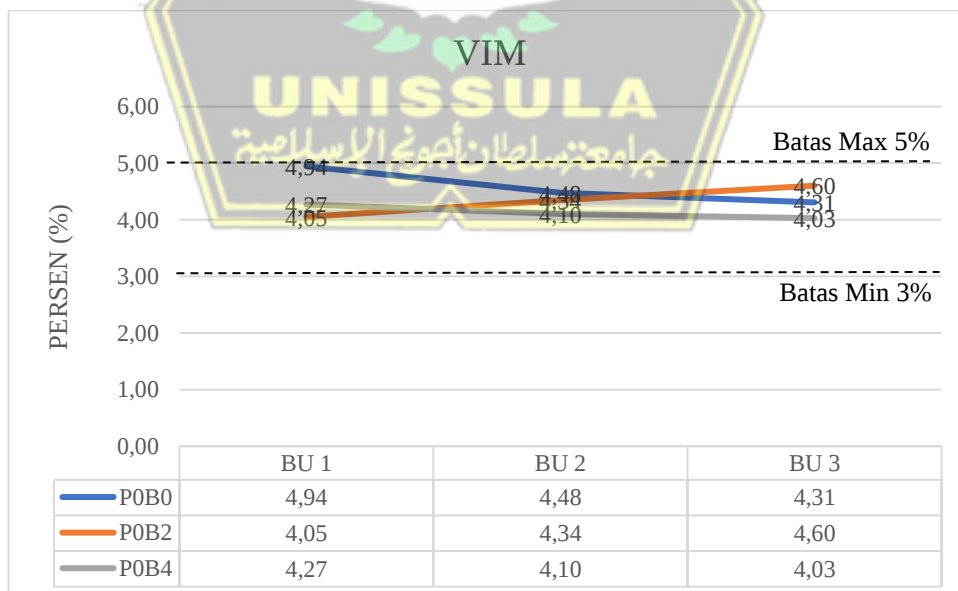
4.7.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Variasi P0 (Plastik PET 0%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Plastik PET 0% dan bendrat 0%, 2%, serta 4% bisa dilihat pada **Table 4.17**.

Tabel 4. 17 Hasil *Marshall Test* Variasi (Plastik PET 0%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

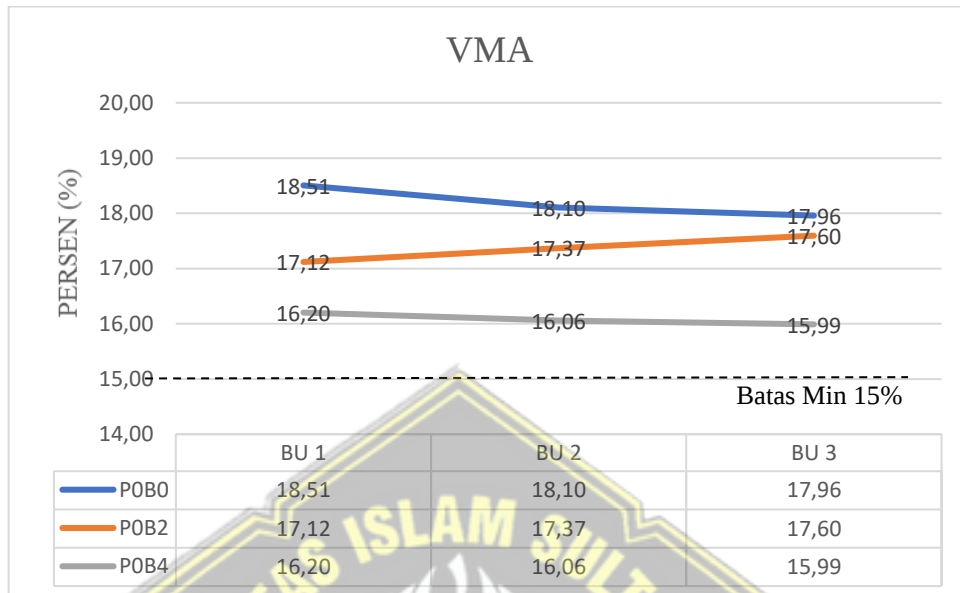
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	P0B0	P0B2	P0B4	
Rongga udara (VIM)	4,94	4,05	4,27	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	18,51	17,12	16,20	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	73,28	76,33	73,64	Min. 65%
Stabilitas marshall	765,73	785,36	883,53	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	3,50	3,50	3,30	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	218,78	224,39	267,74	-

Hasil pengujian marshall untuk plastik PET 0% dan bendrat 0%, 2%, 4% yang ditampilkan pada **Tabel 4.17** untuk semua variasi campuran memenuhi spesifikasi, jadi untuk campuran tersebut bisa digunakan.



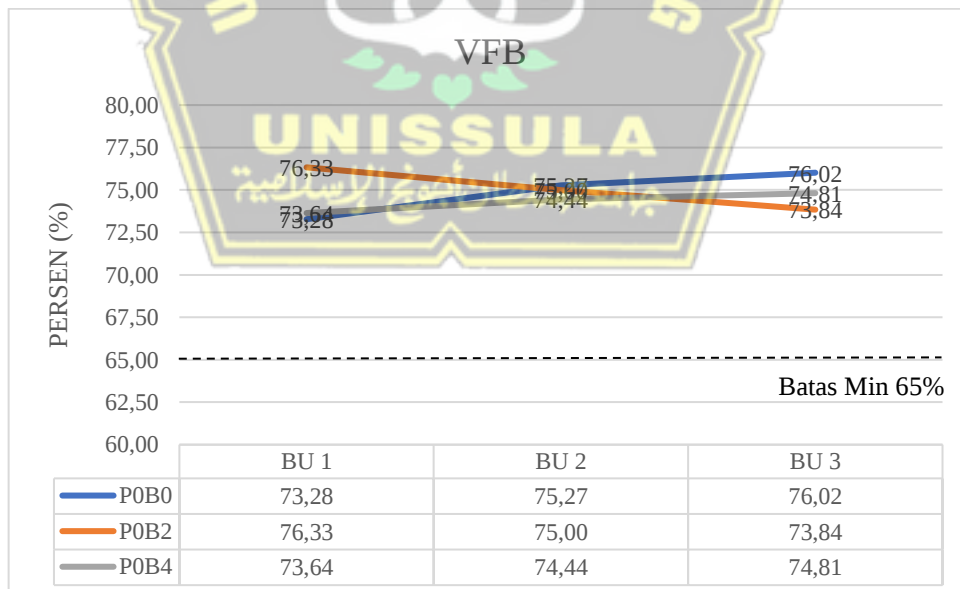
Grafik 4. 3 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.3** pada variasi plattik PET 0% (P0) memiliki nilai rongga udara (VIM) yang sesuai spesifikasi nilai dengan VIM 3% - 5%.



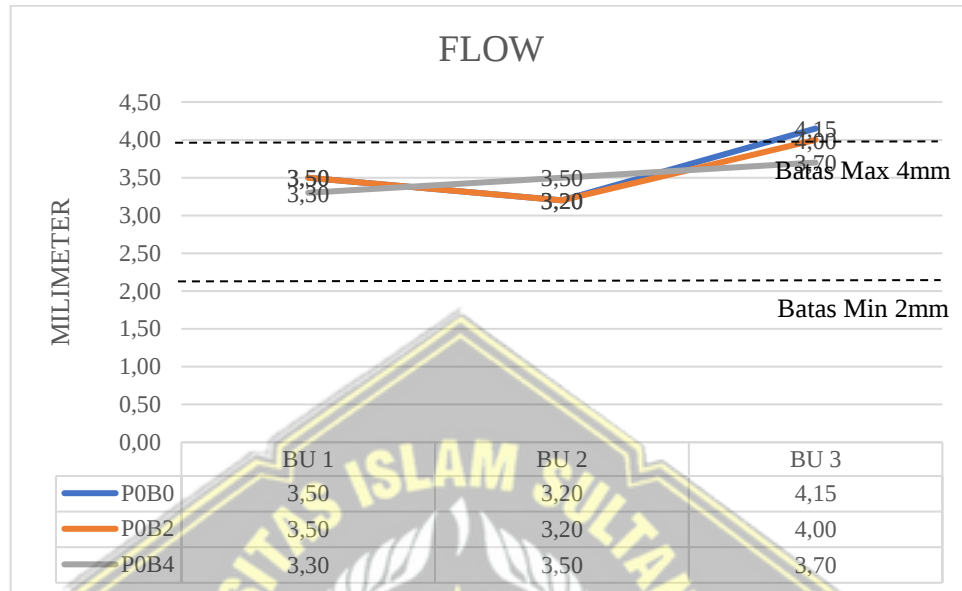
Grafik 4. 4 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.4** pada variasi plastik PET 0% (P0) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



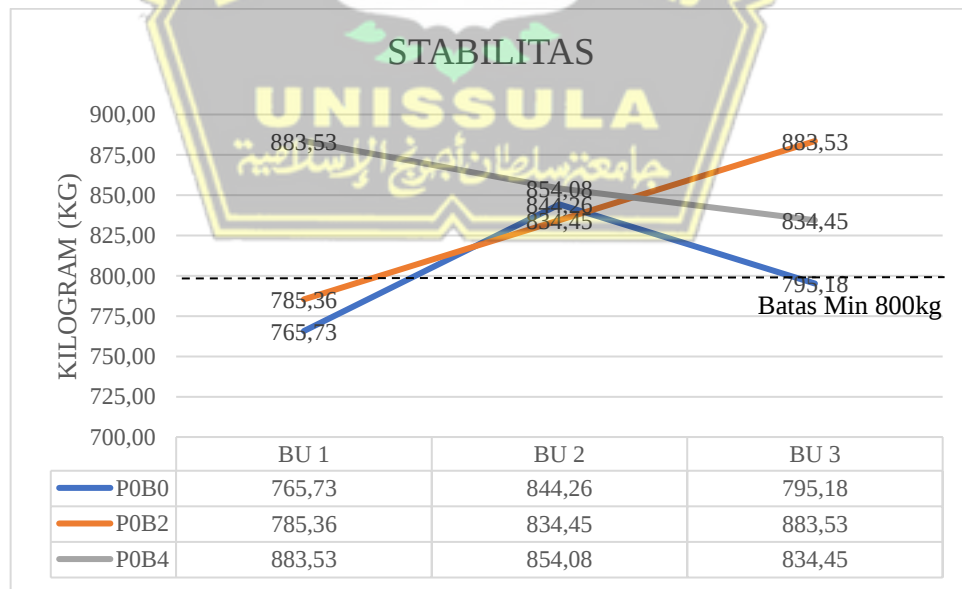
Grafik 4. 5 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.5** pada variasi plastik PET 0% (P0), semua benda uji memenuhi spesifikasi VFB yang disyaratkan. Yaitu terdapat pada benda uji dengan kada PET 0% dan Kawat 0%.



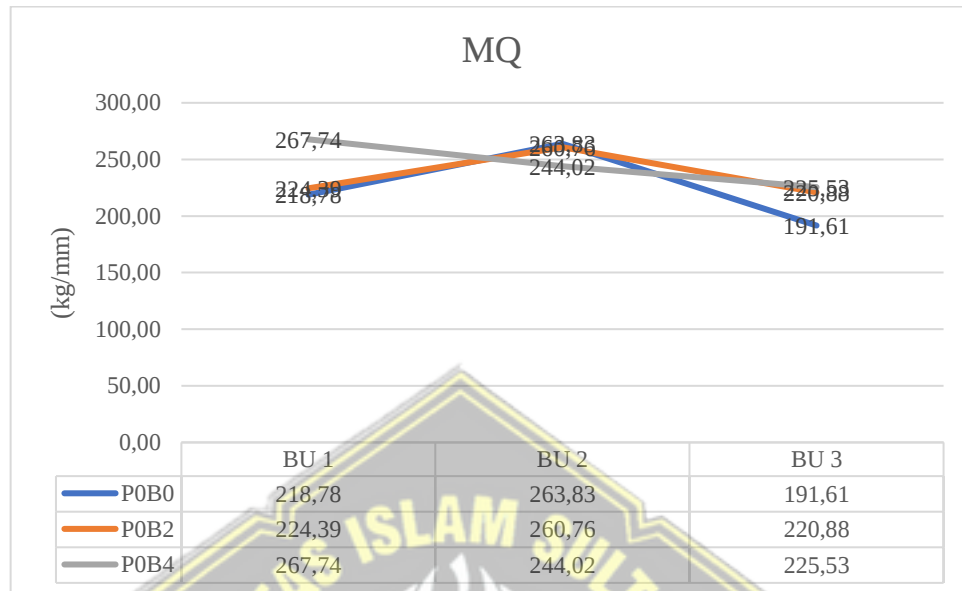
Grafik 4. 6 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.6** pada variasi plastik PET 0% (P0) hanya terdapat 1 variasi benda uji yang melebihi batas max nilai *flow*. Selain itu variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai keleshan (*flow*) yaitu 2 – 4%.



Grafik 4. 7 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.7** pada variasi plastik PET 0% (P0), terdapat variasi yang tidak memenuhi syarat minimal Stabilitas 800 Kg, yaitu pada variasi benda uji P0B0 ada 2, dan P0B2 ada 1.



Grafik 4. 8 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.8** pada variasi Plastik PET 0% (P0) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

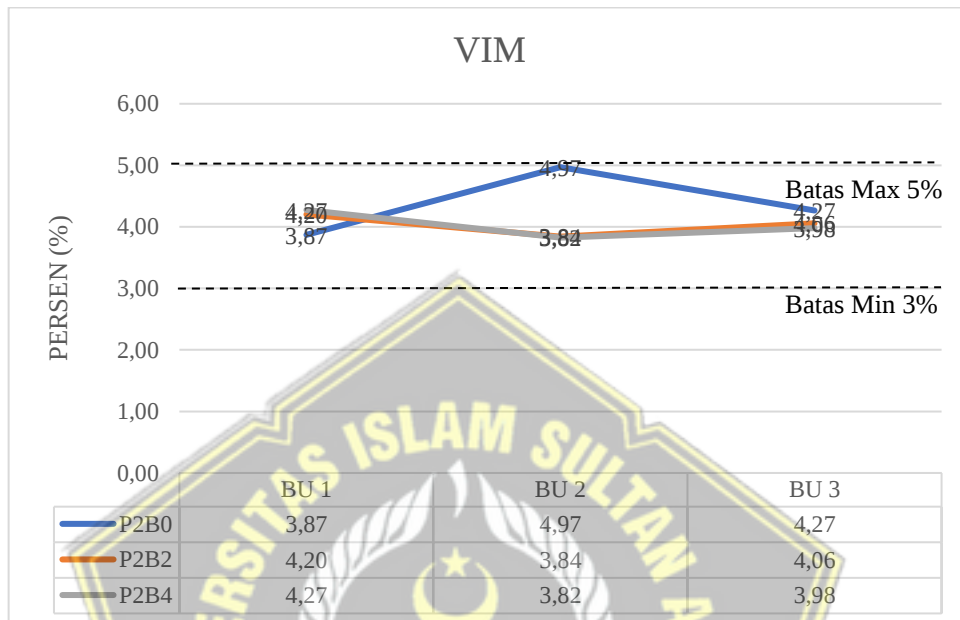
4.7.3 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall Test* Variasi P2 (Plastik PET 2%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Plastik PET 2% dan bendrat 0%, 2%, serta 4% bisa dilihat pada **Table 4.18**.

Tabel 4. 18 Hasil *Marshall Test* Variasi (Plastik PET 2%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

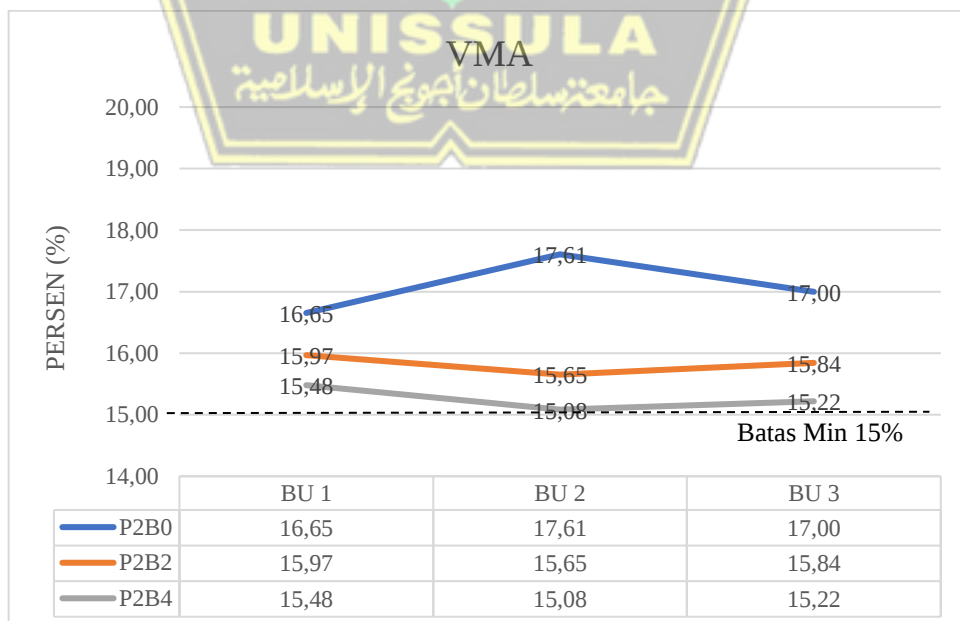
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	P2B0	P2B2	P2B4	
Rongga udara (VIM)	3,87	4,20	3,82	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	16,65	15,97	15,08	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	76,76	73,69	74,64	Min. 65%
Stabilitas marshall	863,90	883,53	981,70	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	3,20	3,20	2,70	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	269,97	276,10	363,59	-

Hasil pengujian marshall untuk plastik PET 2% dan bendrat 0%, 2%, 4% yang ditampilkan pada **Tabel 4.18** untuk semua variasi campuran memenuhi spesifikasi, jadi untuk campuran tersebut bisa digunakan.



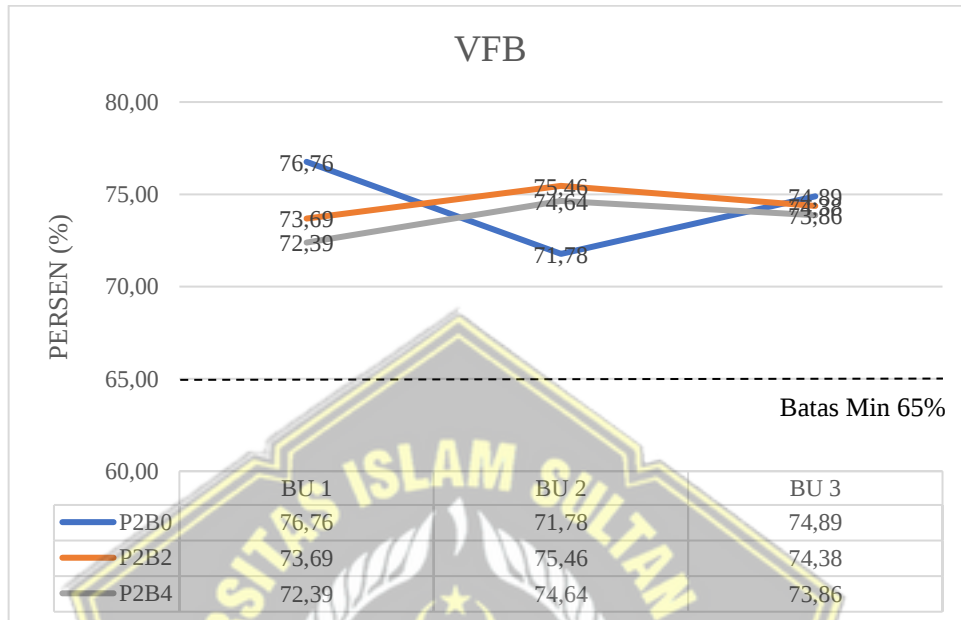
Grafik 4. 9 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.9** pada variasi plattik PET 2% (P2) memiliki nilai rongga udara (VIM) yang sesuai spesifikasi dengan nilai VIM 3% - 5%.



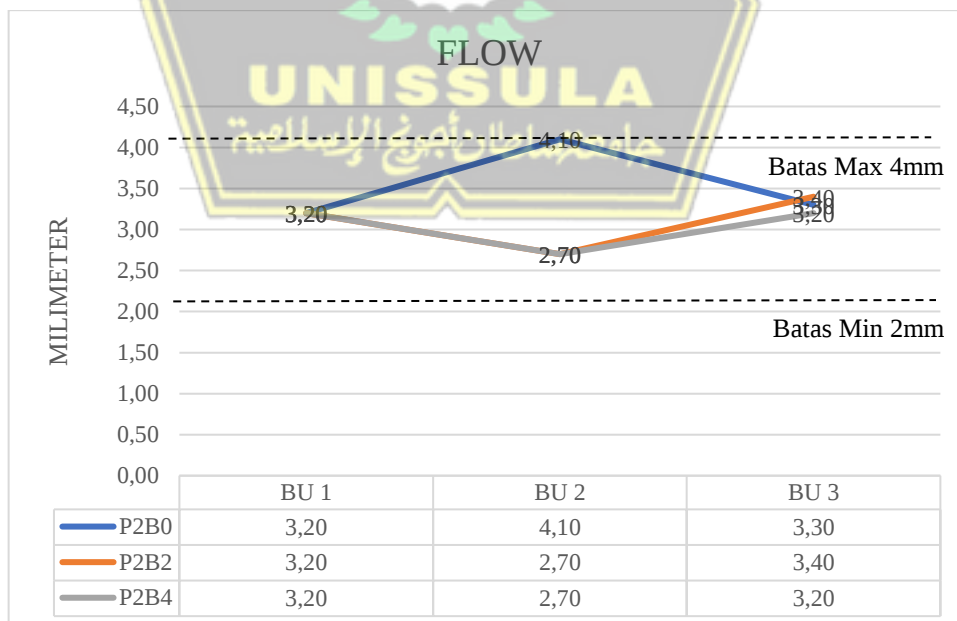
Grafik 4. 10 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.10** pada variasi plastik PET 2% (P2) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



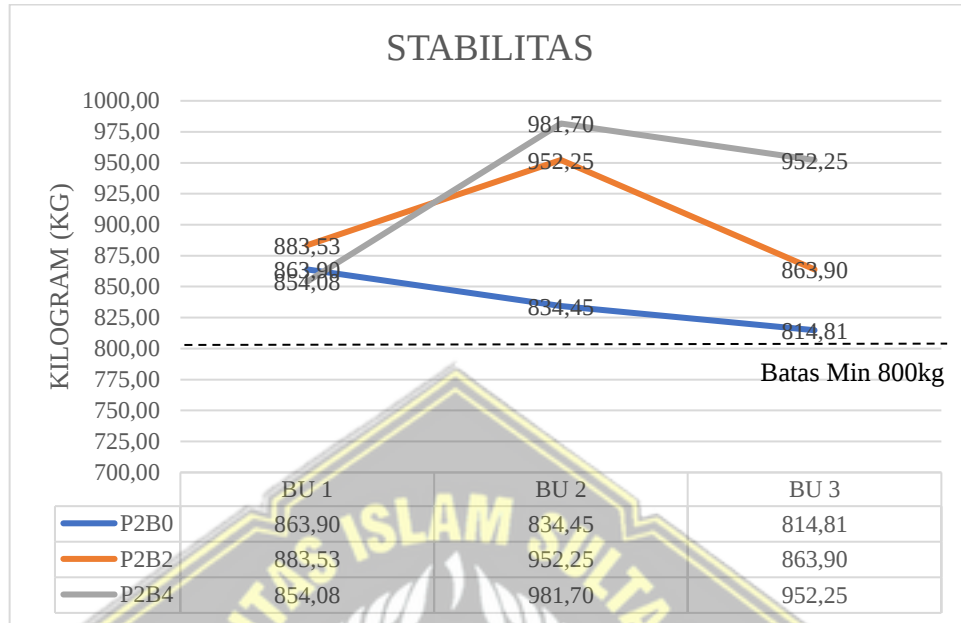
Grafik 4. 11 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.11** pada variasi plastik PET 2% (P2), semua benda uji yang memenuhi persyaratan VFB yaitu sebesar 65%



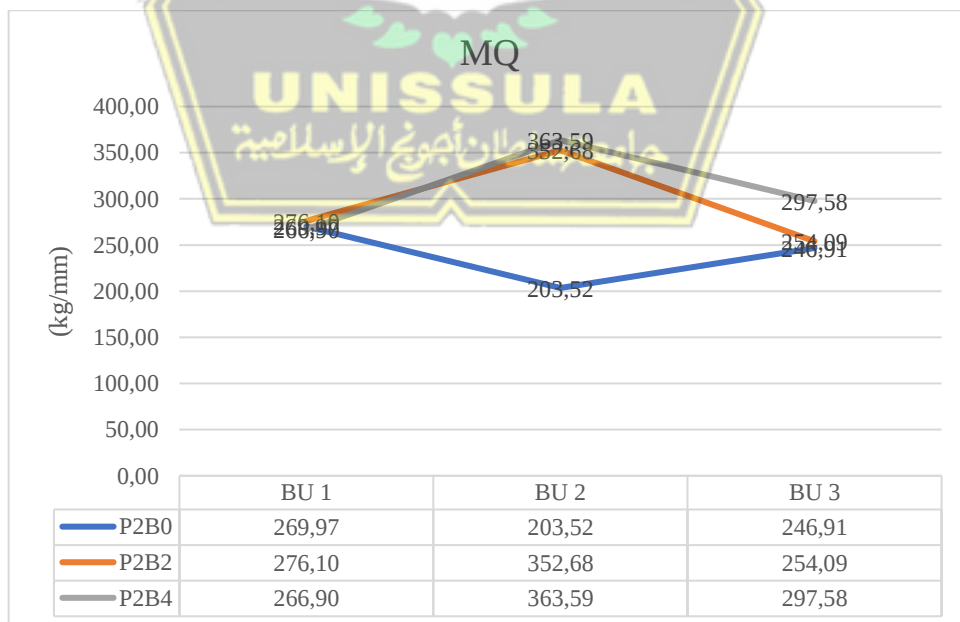
Grafik 4. 12 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.12** pada variasi plastik PET 2% (P2) hanya terdapat satu benda uji dengan variasi PET 2% dan Kawat 0% yang tidak masuk dalam spesifikasi *flow*.



Grafik 4. 13 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.13** pada variasi plastik PET 2% (P2), stabilitas tertinggi berada di angka 981,70 Kg yang merupakan variasi dari kadar PET 2% dan Kawat 4% .



Grafik 4. 14 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.8** pada variasi plastik PET 2% (F2) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

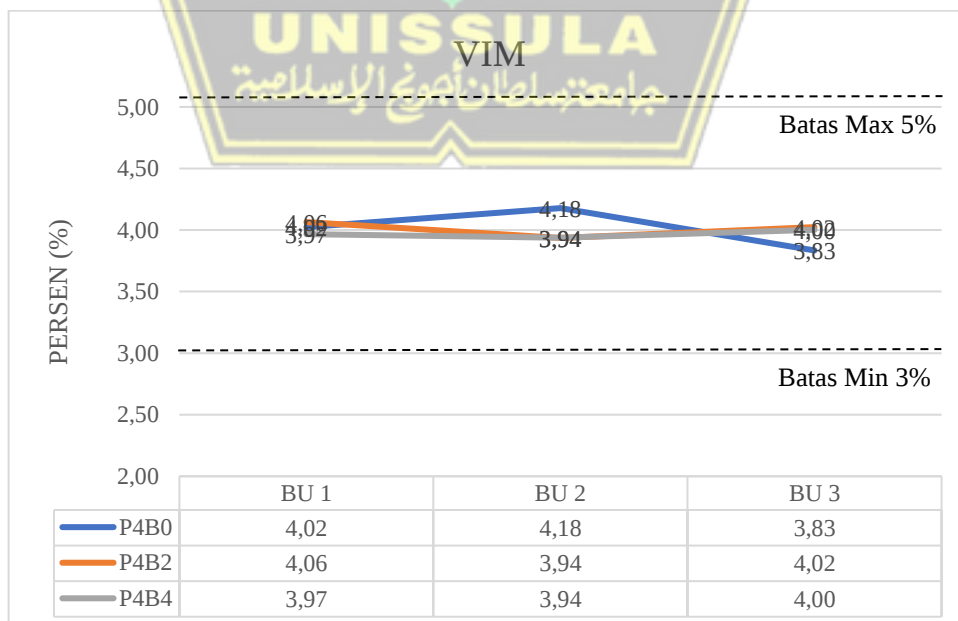
4.7.4 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall Test* Variasi P4 (Plastik PET 4%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Plastik PET 4% dan bendrat 0%, 2%, serta 4% bisa dilihat pada **Table 4.17**.

Tabel 4. 19 Hasil *Marshall Test* Variasi (Plastik PET 4%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

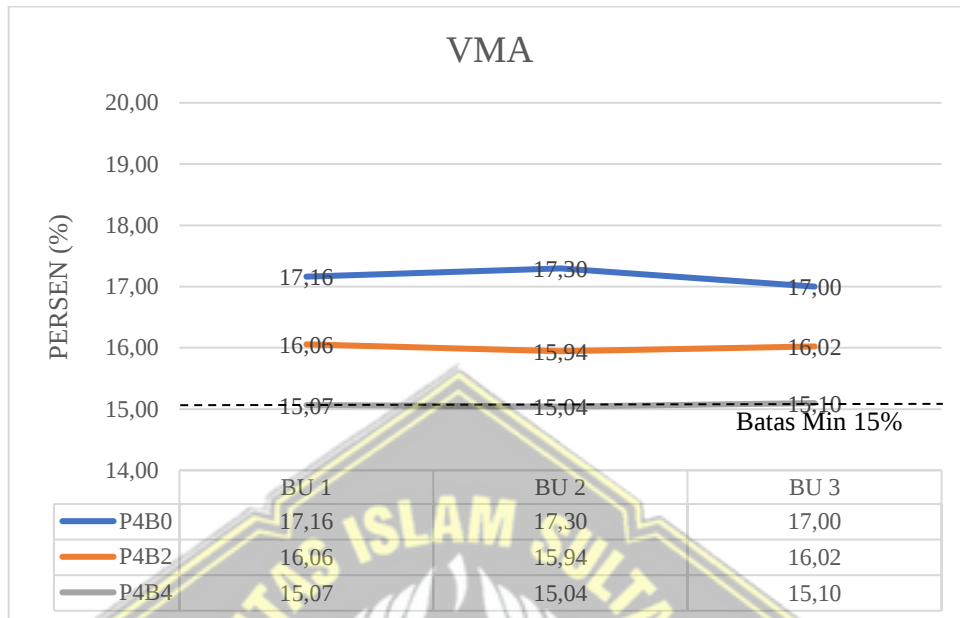
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	P4B0	P4B2	P4B4	
Rongga udara (VIM)	3,83	3,94	3,94	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	17,00	15,94	15,04	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	77,45	75,31	73,82	Min. 65%
Stabilitas marshall	1030,79	942,43	981,70	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	4,00	2,50	3,50	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	257,70	376,97	280,49	-

Hasil pengujian marshall untuk plastik PET 4% dan bendrat 0%, 2%, 4% yang ditampilkan pada **Tabel 4.19** untuk semua variasi campuran memenuhi spesifikasi, jadi untuk campuran tersebut bisa digunakan.



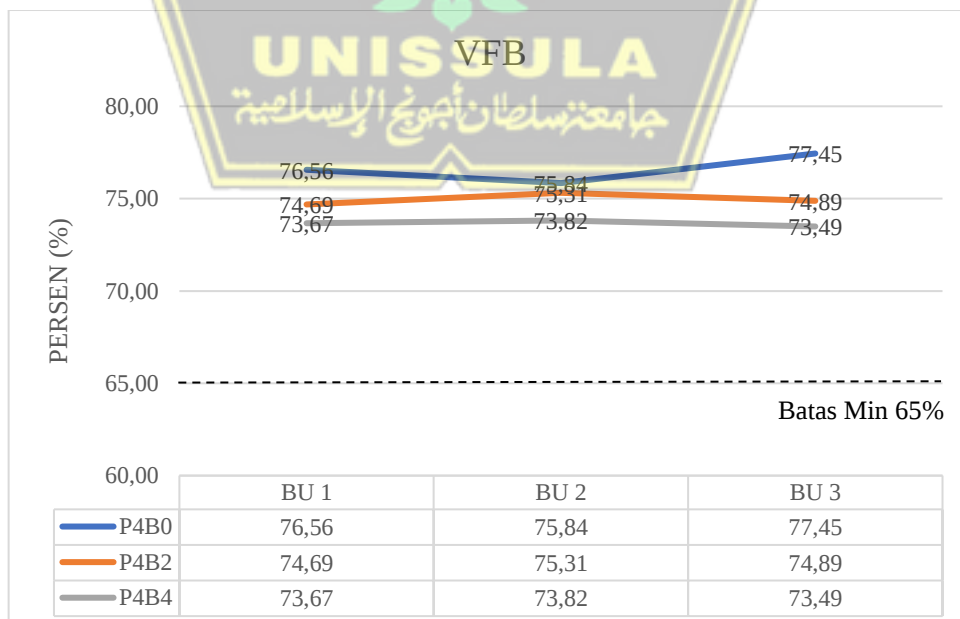
Grafik 4. 15 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.3** pada variasi plattik PET 4% (P4) memiliki nilai rongga udara (VIM) yang sesuai spesifikasi dengan nilai VIM 3% - 5%.



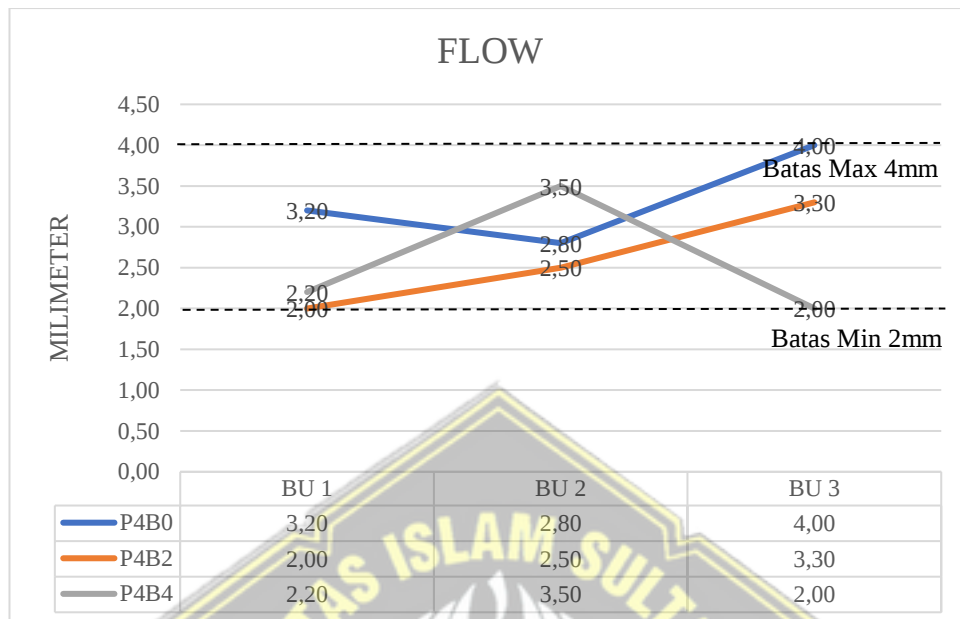
Grafik 4. 16 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.16** pada variasi plastik PET 4% (P4) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



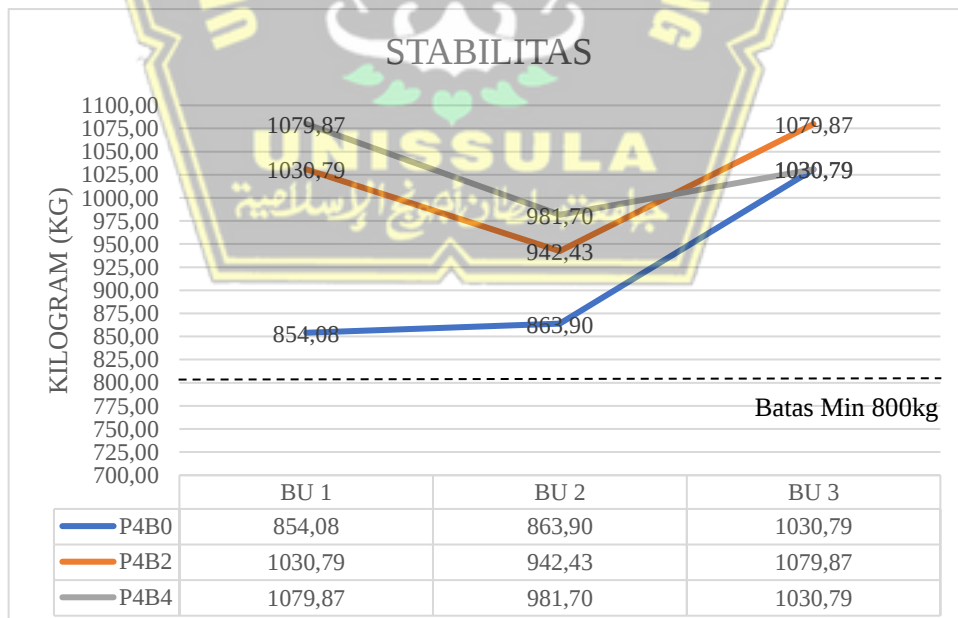
Grafik 4. 17 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.17** pada variasi plastik PET 4% (P4). semua benda uji yang memenuhi persyaratan VFB yaitu sebesar 65%



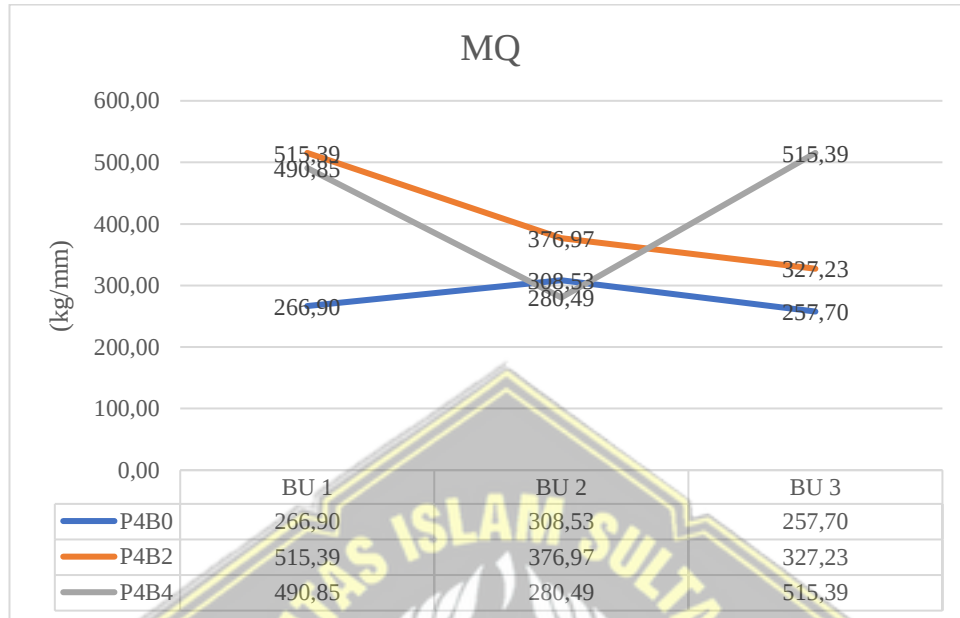
Grafik 4. 18 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.18** pada variasi plastik PET 4% (P4) semua benda uji dengan variasi masuk dalam spesifikasi *flow*.



Grafik 4. 19 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.19** pada variasi plastik PET 4% (P4). stabilitas tertinggi berada di angka 1079,87 Kg yang merupakan variasi dari kadar PET 4% dan Kawat 4% .



Grafik 4. 20 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.20** pada variasi plastik PET 4% (P4) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

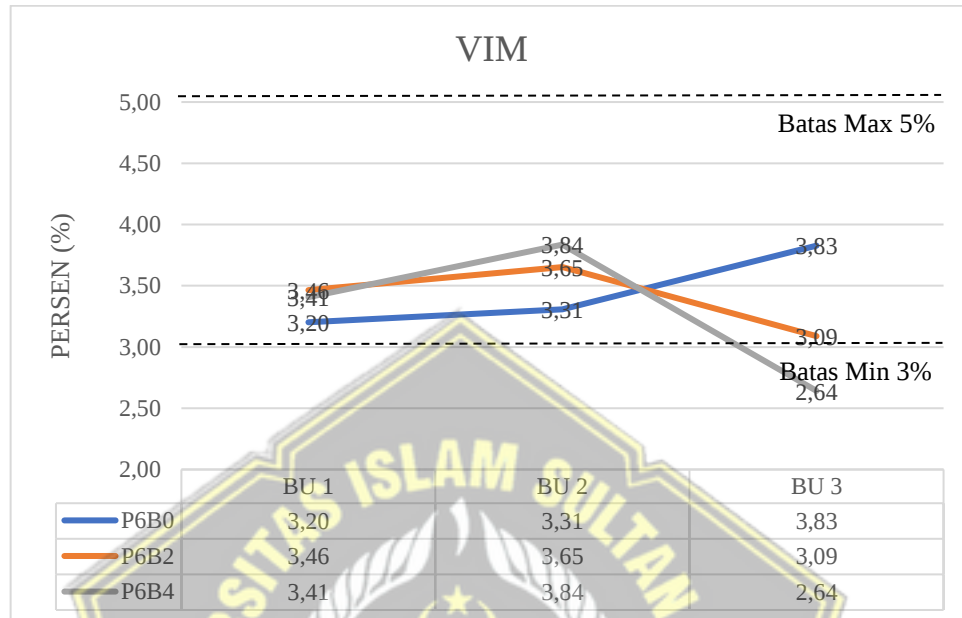
4.7.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Variasi P6 (Plastik PET 6%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Plastik PET 6% dan bendrat 0%, 2%, serta 4% bisa dilihat pada **Table 4.17**.

Tabel 4. 20 Hasil *Marshall Test* Variasi (Plastik PET 6%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

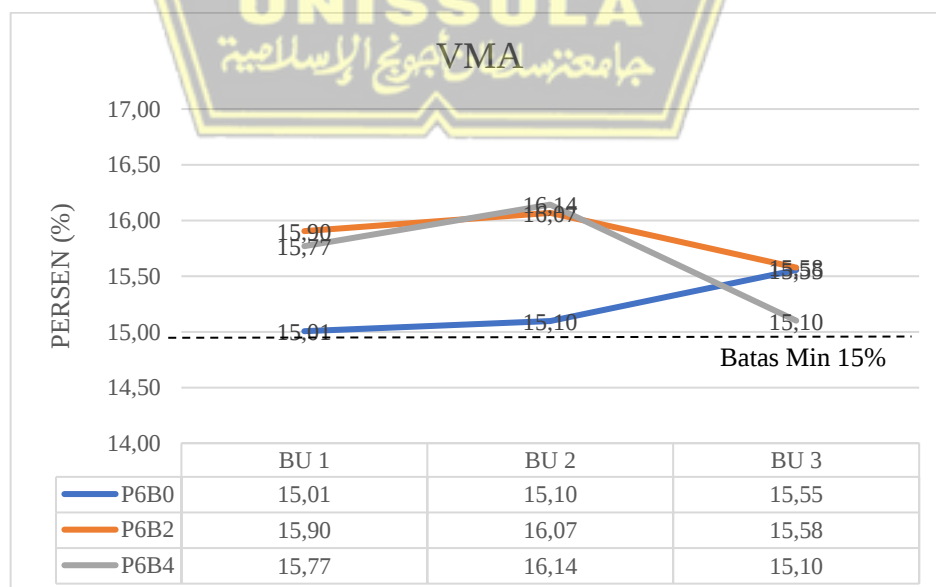
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	P6BO	P6B2	P6B4	
Rongga udara (VIM)	3,31	3,46	2,64	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	15,10	15,90	15,10	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	78,09	78,22	82,51	Min. 65%
Stabilitas marshall	1138,77	1344,93	1590,35	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	3,70	3,00	2,50	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	307,78	448,31	636,14	-

Hasil pengujian marshall untuk plastik PET 6% dan bendrat 0%, 2%, 4% yang ditampilkan pada **Tabel 4.20** untuk hanya terdapat satu variasi campuran yang tidak memenuhi spesifikasi, yaitu pada variasi campuran PET 6% dan kawat bendrat 4%



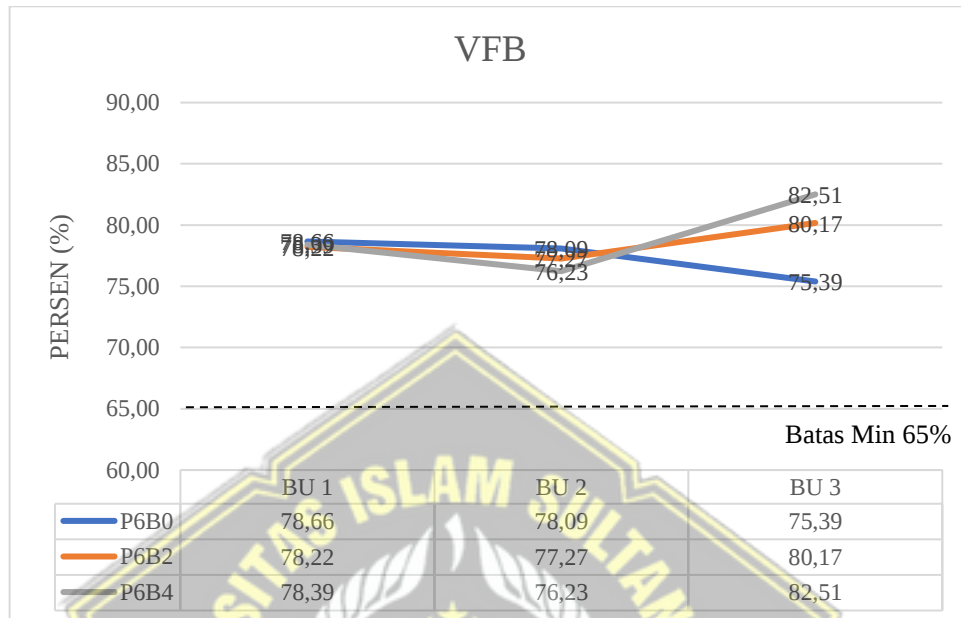
Grafik 4. 21 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.21** pada variasi plattik PET 6% (P6) terdapat satau variasi benda uji campuran memiliki nilai rongga udara (VIM) yang tidak sesuai spesifikasi dengan nilai VIM 3% - 5%, yaitu variasi PET 6% dan kawat bendrat 4%



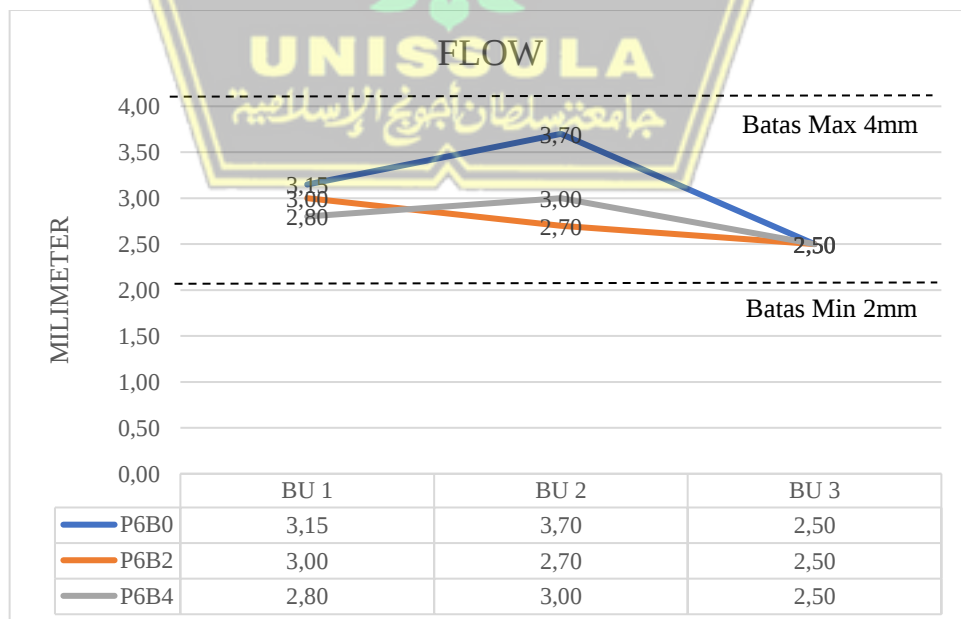
Grafik 4. 22 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.22** pada variasi plastik PET 6% (P6) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



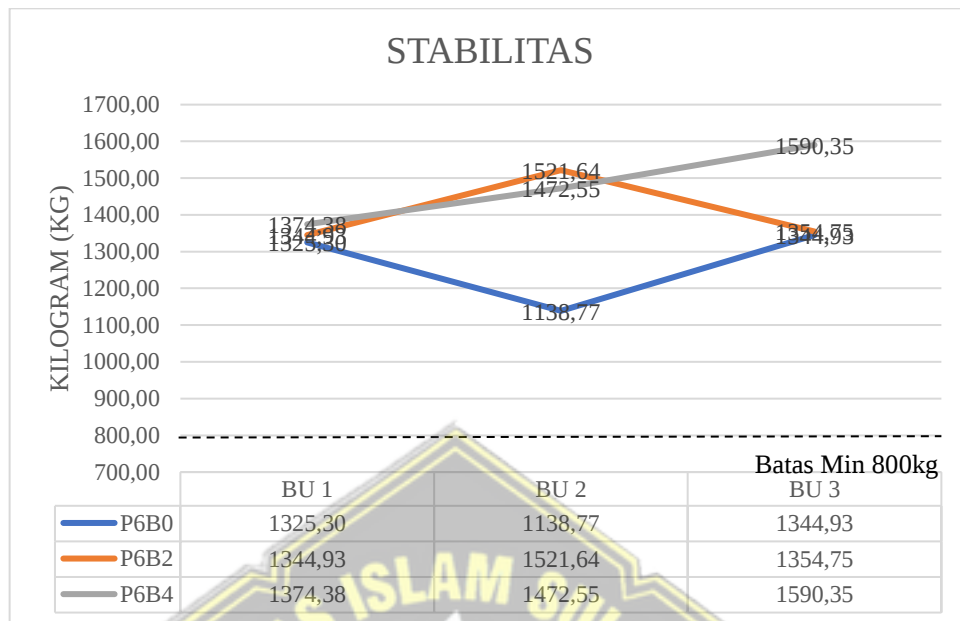
Grafik 4. 23 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.23** pada variasi plastik PET 6% (P6), untuk variasi plastik PET 6% dan Kawat 0% ketiga benda uji memenuhi persyaratan batas minimal VFB yaitu sebesar 65%.



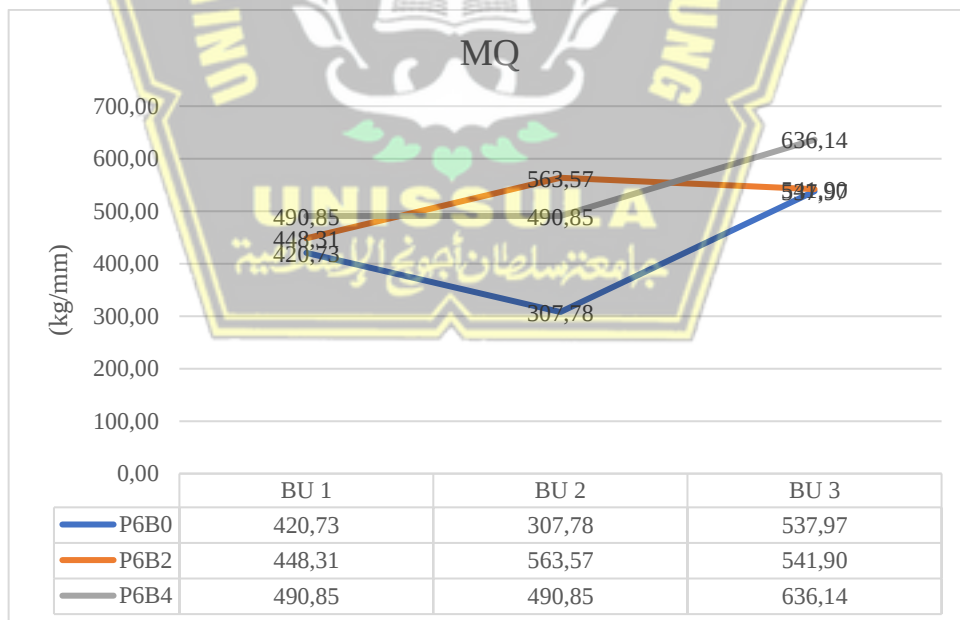
Grafik 4. 24 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.24** pada variasi plastik PET 4% (P4). Semua benda uji memenuhi persyaratan *flow*. Dengan nilai antar 2-4 mm.



Grafik 4. 25 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.25** pada variasi plastik PET 6% (P6). Semua variasi kadar dan benda uji memenuhi persyaratan minimal stabilitas.



Grafik 4. 26 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.26** pada variasi plastik PET 6% (P6) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

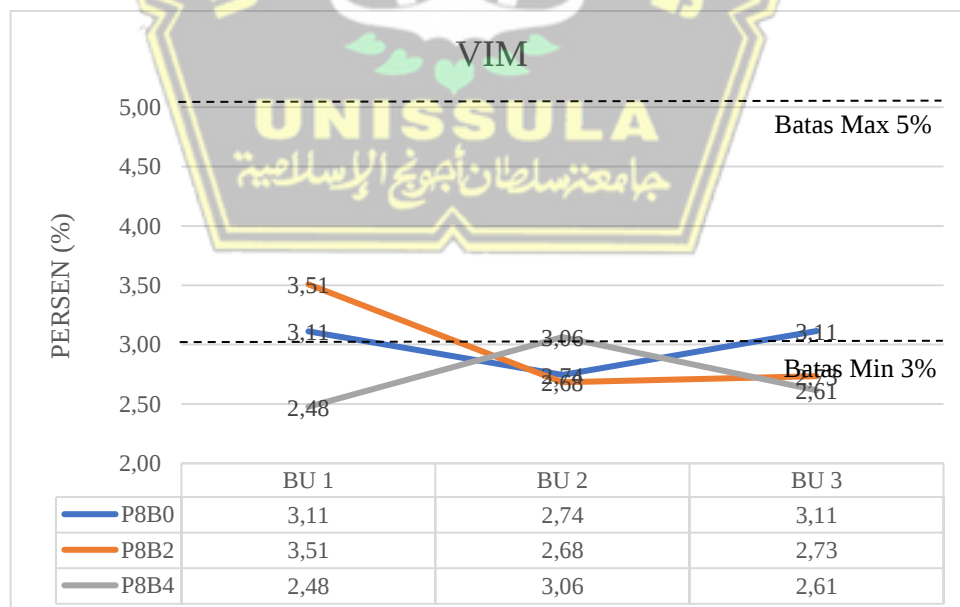
4.7.6 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Variasi P8 (Plastik PET 8%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Plastik PET 8% dan bendrat 0%, 2%, serta 4% bisa dilihat pada **Table 4.17**.

Tabel 4. 21 Hasil *Marshall Test* Variasi (Plastik PET 8%, Bendrat 0%, 2%, 4%)

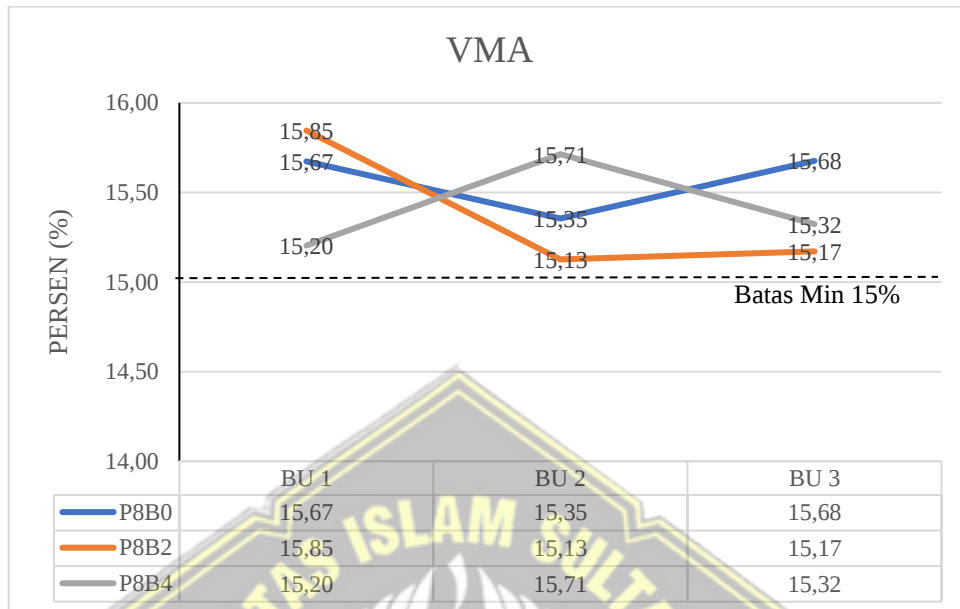
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	P8B0	P8B2	P8B4	
Rongga udara (VIM)	3,11	2,68	3,06	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	15,67	15,13	15,71	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	80,15	82,26	80,51	Min. 65%
Stabilitas marshall	1325,30	1374,38	1374,38	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	3,15	5,00	6,00	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	420,73	274,88	229,06	-

Hasil pengujian marshall untuk plastik PET 8% dan bendrat 0%, 2%, 4% yang ditampilkan pada **Tabel 4.21** hanya terdapat 1 variasi campuran yang memenuhi semua spesifikasi, yaitu pada variasi campuran (P8B0) PET 8% dan kawat bendrat 0%.



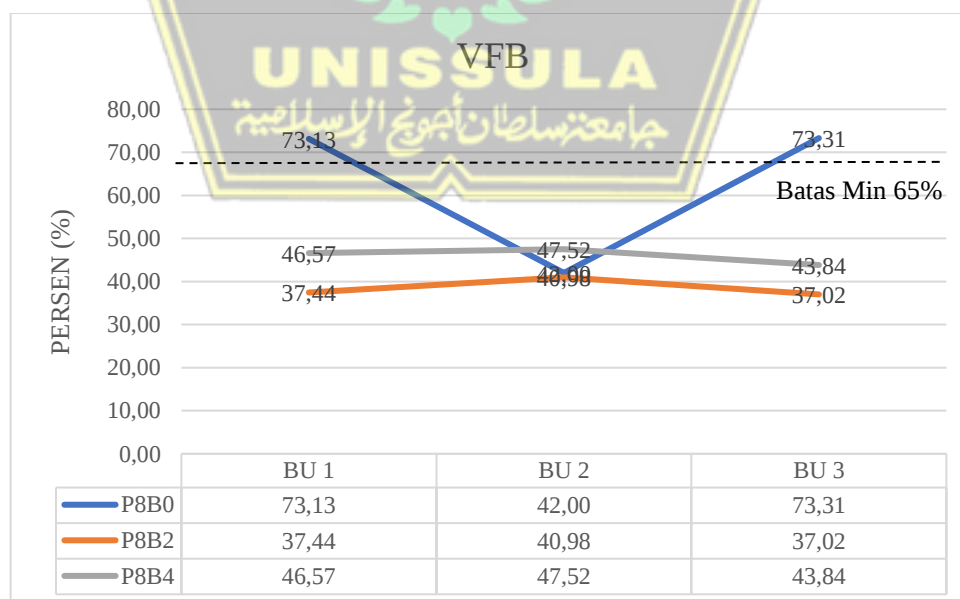
Grafik 4. 27 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.27** pada variasi plattik PET 8% (P8) sebagian besar memiliki nilai rongga udara (VIM) yang kurang dari spesifikasi nilai VIM 3% - 5%.



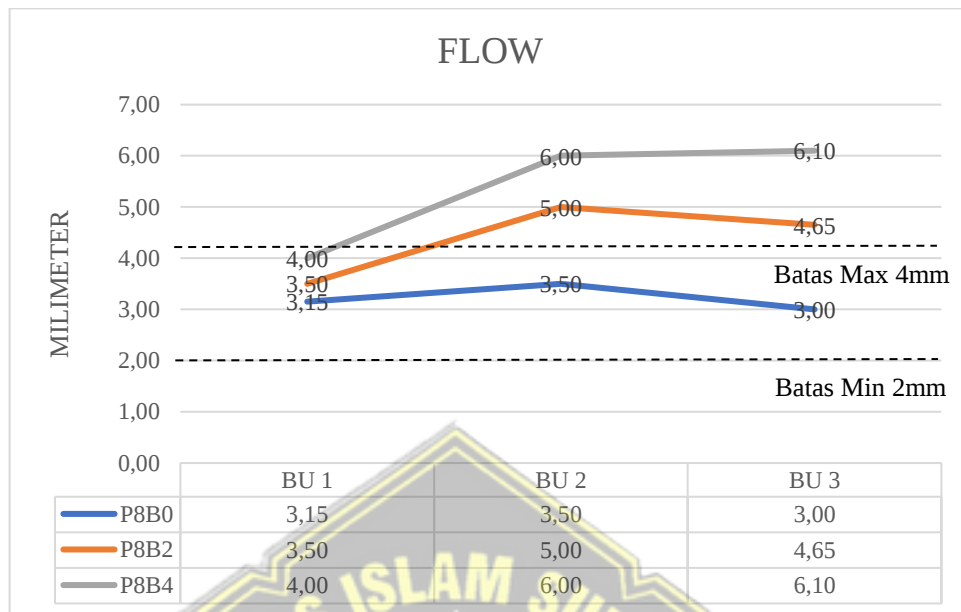
Grafik 4. 28 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.28** pada variasi plastik PET 8% (P8) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



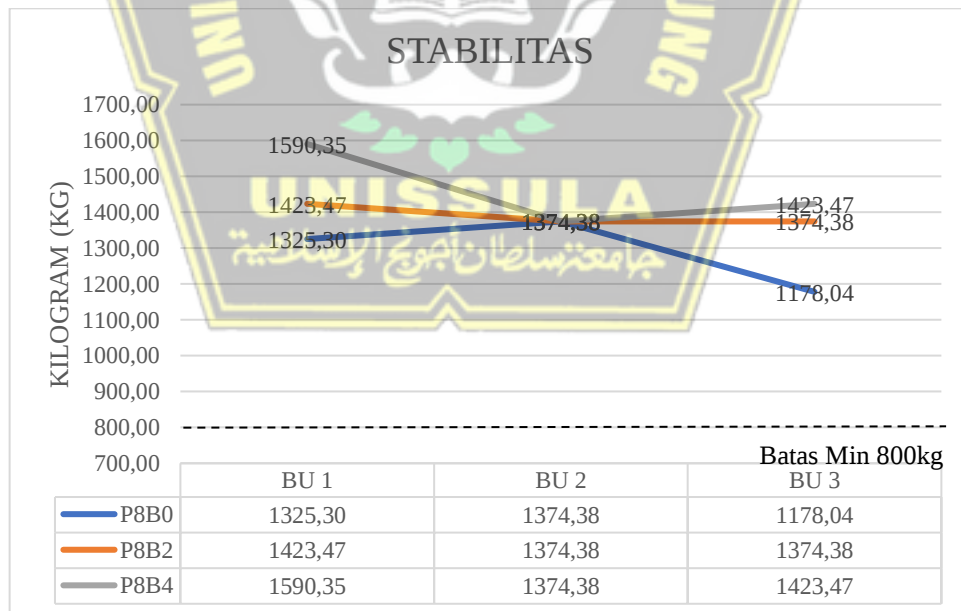
Grafik 4. 29 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.29** pada variasi plastik PET 8% (P8), hanya terdapat 2 benda uji yang memenuhi persyaratan VFB yaitu minimal 65%.



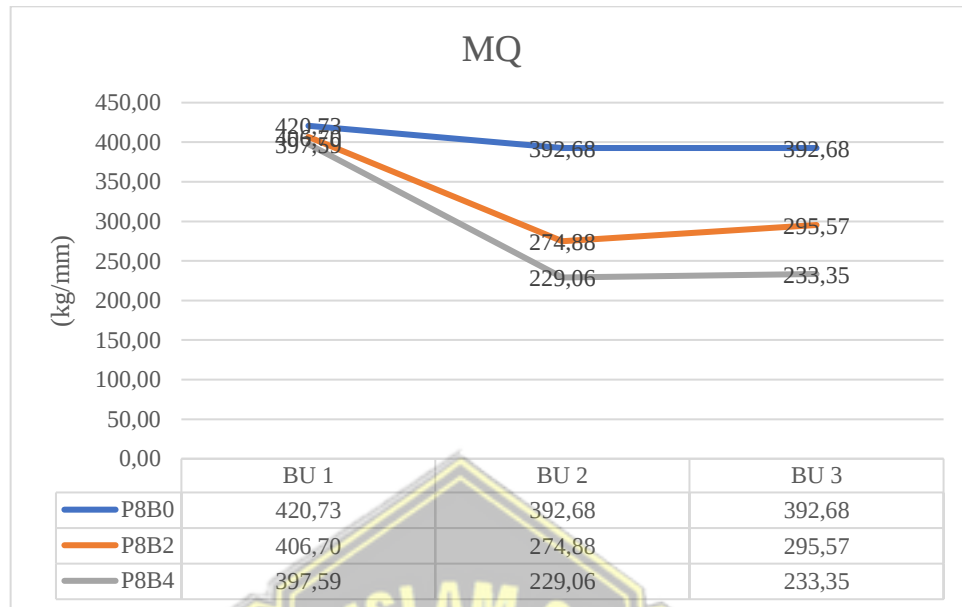
Grafik 4. 30 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.30** pada variasi plastik PET 8% (P8), ke 3 benda uji yang memenuhi spesifikasi nilai flow yang disyaratkan yaitu pada variasi campuran (P8B0) PET 8% dan kawat bendrat 0%.



Grafik 4. 31 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.31** pada variasi plastik PET 8% (P8), semua benda variasi campuran memenuhi persyaratan nilai stabilitas yaitu minimal 800kg.



Grafik 4. 32 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.32** pada variasi plastik PET 8% (P8) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

4.7.7 Rangkuman Hasil Pengujin

Tabel 4. 22 Tabel VMA

VMA			
Benda Uji	Benda Uji		
	1	2	3
P0B0	18,51	18,10	17,96
P0B2	17,12	17,37	17,60
P0B4	16,20	16,06	15,99
P2B0	16,65	17,61	17,00
P2B2	15,97	15,65	15,84
P2B4	15,48	15,08	15,22
P4B0	17,16	17,30	17,00
P4B2	16,06	15,94	16,02
P4B4	15,07	15,04	15,10
P6B0	15,01	15,10	15,55
P6B2	15,90	16,07	15,58
P6B4	15,77	16,14	15,10
P8B0	15,67	15,35	15,68
P8B2	15,85	15,13	15,17
P8B4	15,20	15,71	15,32

Tabel 4. 23 Tabel VIM

VIM			
Benda Uji	Benda Uji		
	1	2	3
P0B0	4,94	4,48	4,31
P0B2	4,05	4,34	4,60
P0B4	4,27	4,10	4,03
P2B0	3,87	4,97	4,27
P2B2	4,20	3,84	4,06
P2B4	4,27	3,82	3,98
P4B0	4,02	4,18	3,83
P4B2	4,06	3,94	4,02
P4B4	3,97	3,94	4,00
P6B0	3,20	3,31	3,83
P6B2	3,46	3,65	3,09
P6B4	3,41	3,84	2,64
P8B0	3,11	2,74	3,11
P8B2	3,51	2,68	2,73
P8B4	2,48	3,06	2,61

Tabel 4. 24 Tabel VFB

VFB			
Benda Uji	Benda Uji		
	1	2	3
P0B0	73,28	75,27	76,02
P0B2	76,33	75,00	73,84
P0B4	90,00	87,00	85,00
P2B0	76,76	71,78	74,89
P2B2	90,00	97,00	88,00
P2B4	87,00	100,00	97,00
P4B0	76,56	75,84	77,45
P4B2	74,69	75,31	74,89
P4B4	73,67	73,82	73,49
P6B0	78,66	78,09	75,39
P6B2	78,22	77,27	80,17
P6B4	78,39	76,23	82,51
P8B0	80,15	82,12	80,13
P8B2	77,86	82,26	81,98
P8B4	83,71	80,51	82,94

Tabel 4. 25 Tabel Stabilitas

STABILITAS			
Benda Uji	Benda Uji		
	1	2	3
P0B0	765,73	844,26	795,18
P0B2	785,36	834,45	883,53
P0B4	883,53	854,08	834,45
P2B0	863,90	834,45	814,81
P2B2	883,53	952,25	863,90
P2B4	854,08	981,70	952,25
P4B0	854,08	863,90	1030,79
P4B2	1030,79	942,43	1079,87
P4B4	1079,87	981,70	1030,79
P6B0	1325,30	1138,77	1344,93
P6B2	1344,93	1521,64	1354,75
P6B4	1374,38	1472,55	1590,35
P8B0	1325,30	1374,38	1178,04
P8B2	1423,47	1374,38	1374,38
P8B4	1590,35	1374,38	1423,47

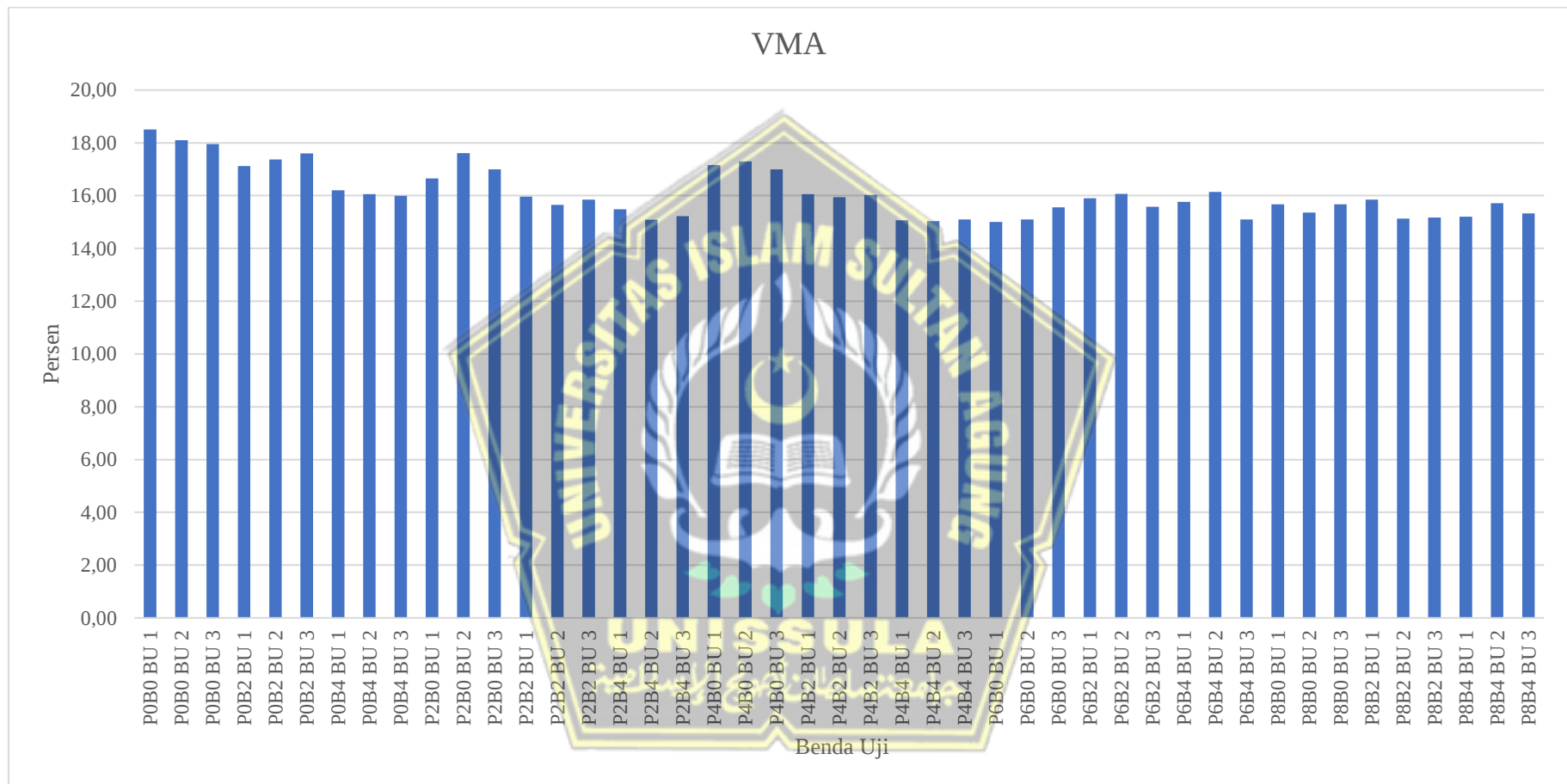
Tabel 4. 26 Tabel Flow

FLOW			
Benda Uji	Benda Uji		
	1	2	3
P0B0	3,50	3,20	4,15
P0B2	3,50	3,20	4,00
P0B4	3,30	3,50	3,70
P2B0	3,20	4,10	3,30
P2B2	3,20	2,70	3,40
P2B4	3,20	2,70	3,20
P4B0	3,20	2,80	4,00
P4B2	2,00	2,50	3,30
P4B4	2,20	3,50	2,00
P6B0	3,15	3,70	2,50
P6B2	3,00	2,70	2,50
P6B4	2,80	3,00	2,50
P8B0	3,15	3,50	3,00
P8B2	3,50	5,00	4,65
P8B4	4,00	6,00	6,10

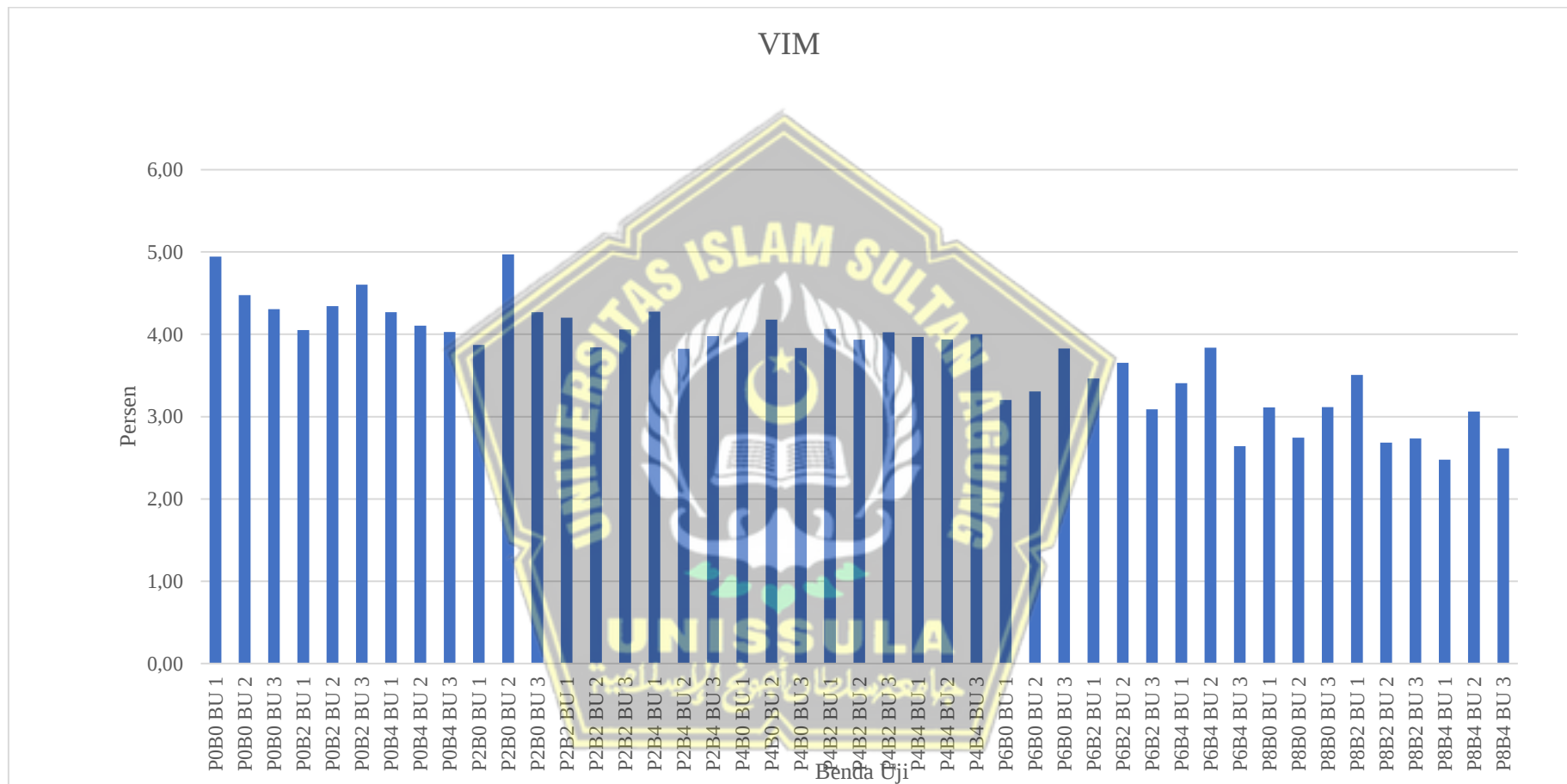
Tabel 4. 27 Tabel MQ

MQ			
Benda Uji	Benda Uji		
	1	2	3
P0B0	218,78	263,83	191,61
P0B2	224,39	260,76	220,88
P0B4	267,74	244,02	225,53
P2B0	269,97	203,52	246,91
P2B2	276,10	352,68	254,09
P2B4	266,90	363,59	297,58
P4B0	266,90	308,53	257,70
P4B2	515,39	376,97	327,23
P4B4	490,85	280,49	515,39
P6B0	420,73	307,78	537,97
P6B2	448,31	563,57	541,90
P6B4	490,85	490,85	636,14
P8B0	420,73	392,68	392,68
P8B2	406,70	274,88	295,57
P8B4	397,59	229,06	233,35

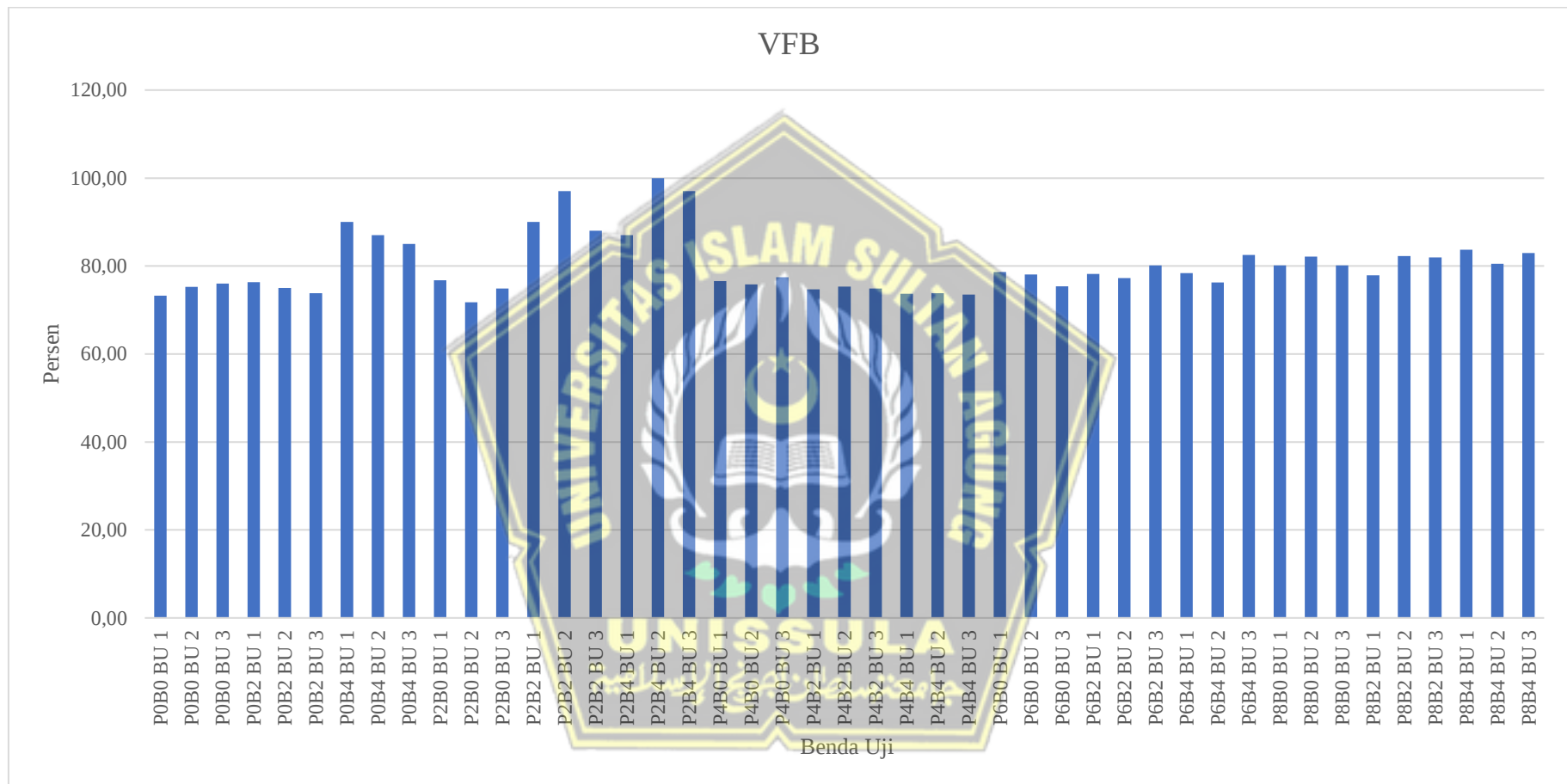




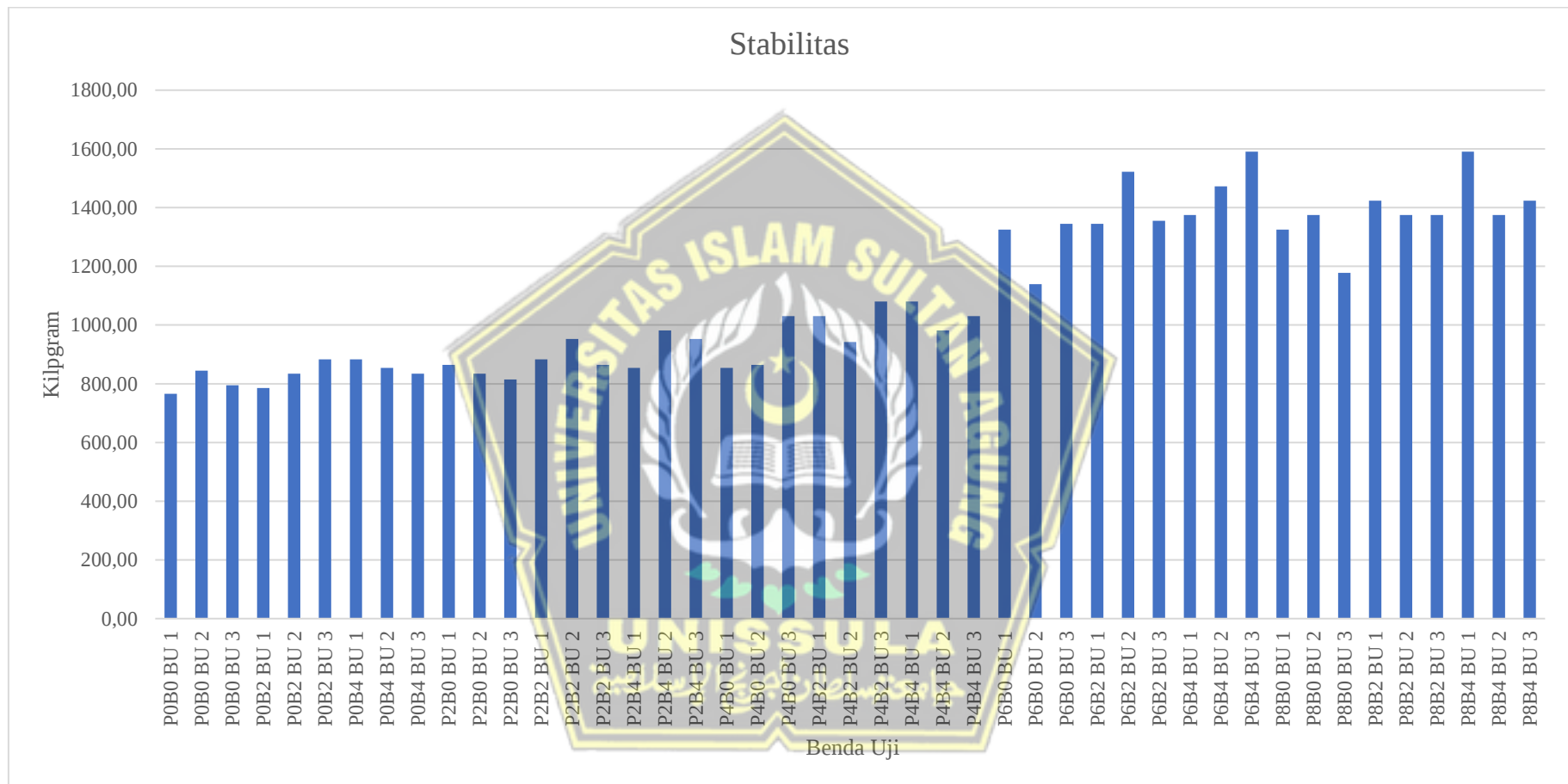
Grafik 4. 33 Grafik Hasil VMA



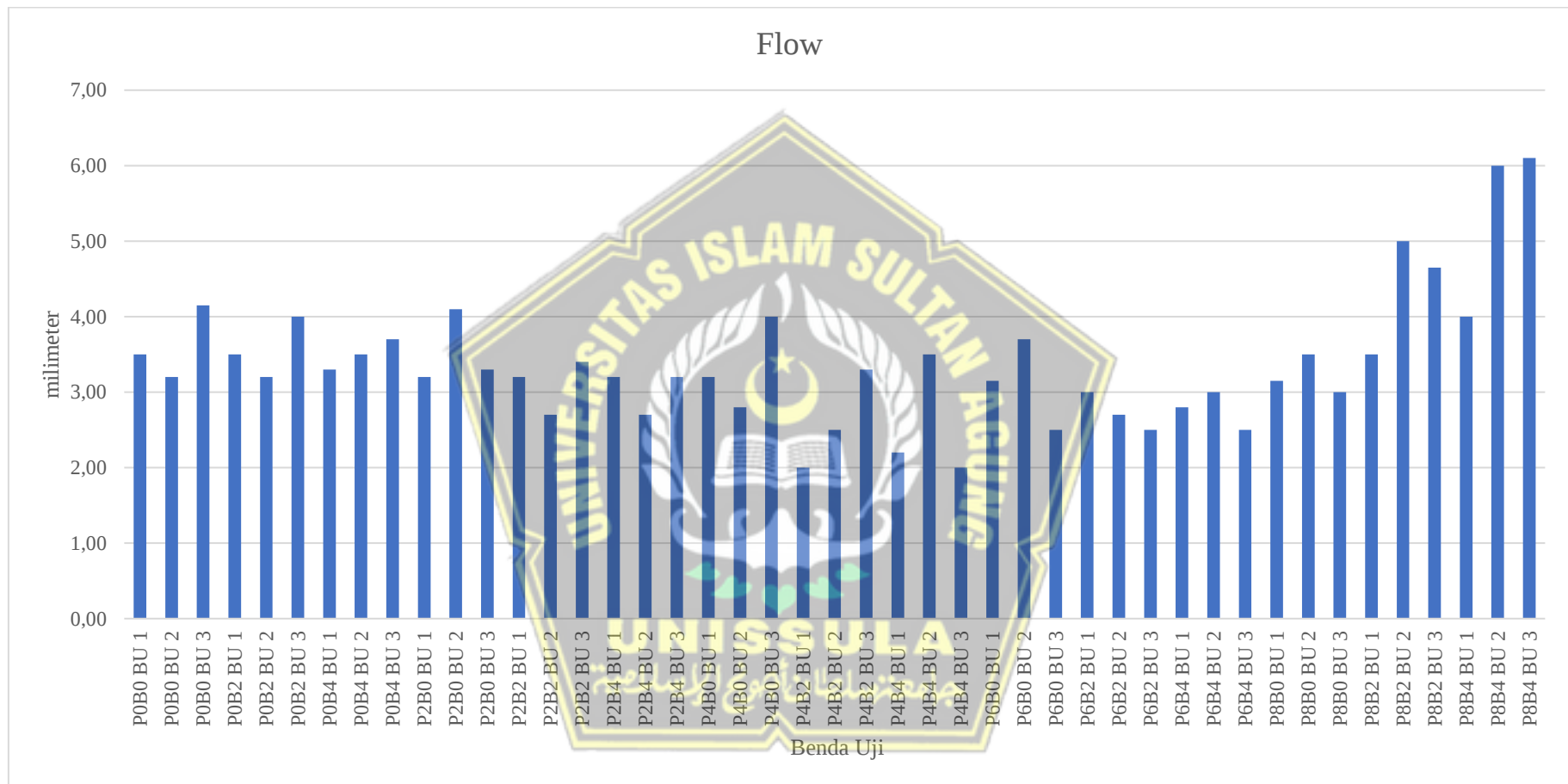
Grafik 4. 34 Garfik VIM



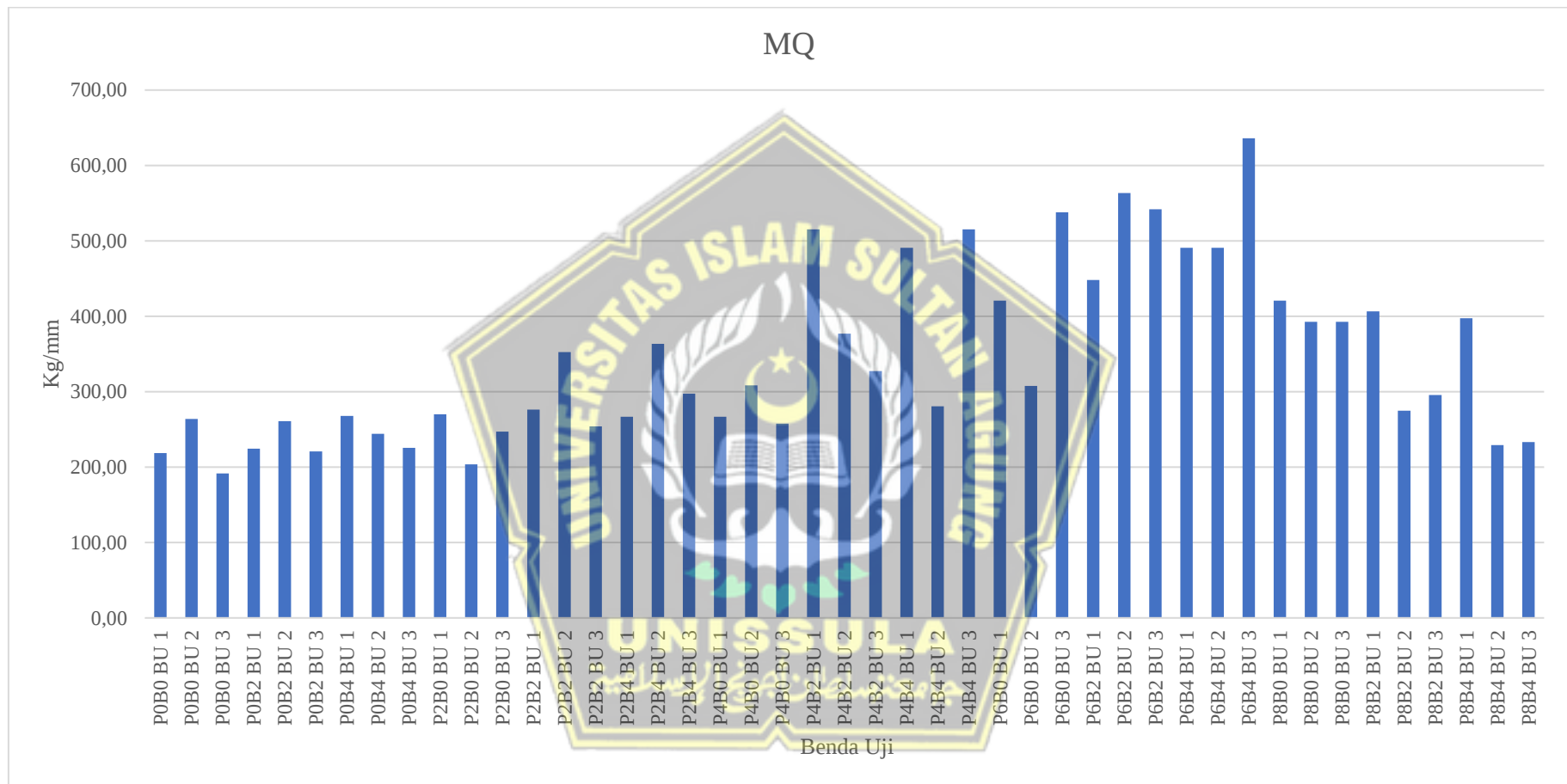
Grafik 4. 35 Grafik VFB



Grafik 4. 36 Grafik Stabilitas



Grafik 4. 37 Grafik Flow



Grafik 4. 38 Grafik MQ

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil *job mix formula* pada pengujian marshall yang memenuhi semua parameter dan terbaik yaitu pada variasi P6B4 (Plastik PET 6% dan Kawat Bendrat 4%) dengan nilai rongga udara (VIM) 2,64%, nilai rongga diantara agregat (VMA) 15,10%, rongga terisi aspal (VFB) 82,51%, stabilitas 1590,35 kg, kelelahan (flow) 2,50 mm, dan *marshall quention* (MQ) 636,14kg/mm.
2. Stabilitas marshall tertinggi diperoleh pada variasi P6B4 (Plastik PET 6% dan Kawat Bendrat 4%) dengan nilai stabilitas sebesar 1590,35 kg.

5.2 Saran

Agar penelitian mendapatkan hasil sesuai apa yang diinginkan serta merekomendasikan untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi plastik PET dan kawat bendrat.
2. Melakukan pengembangan terhadap modifikasi variasi penambahan material lain terhadap campuran AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Amri, Fahrul. 2013. "Dengan Aspal Buton Lawele Pada Campuran Aspal Concrete Base Course (Ac-Bc) Menggunakan Metode Marshall Test." *RADIAL-Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi* 4(2): 181–90. <https://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/view/137%0Ahttps://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/download/137/123>.
- ASTM D 4791. 2019. "Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate." *ASTM International* 1: 1–4.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. "SNI 3407:2008 Cara Uji Sifat Kekekalan Agregat Dengan Cara Perendaman Menggunakan Larutan Natrium Sulfat Atau Magnesium Sulfat." *Badan Standarisasi Nasional*.
- Bamher, Brillian Gery. 2020. "Analisis Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Pada Proyek Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani, Buleleng." *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (Jtsc)*: 1–43.
- Bina Marga. 2018. "General Spesification of Indonesia Highways and Bridges." : 104.
- Darmawan, Rahmatullah, and Lizar Lizar. 2020. "Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Menggunakan Metode Bm - 2017." *Jurnal TeKLA* 2(2): 97. doi:10.35314/tekla.v2i2.1823.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga. 2006. "Pemanfaatan Asbuton." *Pedoman Konstruksi dan Bangunan* 1.
- Earnest, Matthew D. 2015. "Performance Characteristics of Polyethylene Terephthalate (PET) Modified Asphalt." *Georgia Southern University*: 95. <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/etd/1260>.
- Gul, Waqar Ahmed, and Murat Guler. 2014. "Rutting Susceptibility of Asphalt Concrete with Recycled Concrete Aggregate Using Revised Marshall Procedure." *Construction and Building Materials* 55: 341–49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.043>.
- Hartono, Juandra, Wibowo Dian Eksana, and Avit Fajari. 2020. "PENGARUH VARIASI BAHAN TAMBAH KAWAT BENDRAT DAN FILLER ABU

SEKAM PADI PADA LASTON (AC-BC) TERHADAP Dari Lapis Aspal Beton Dalam Menerima Dan VMA Yang Tinggi Akan Mempunyai Faktor-Faktor.” 16(2): 124–31.

Jambeck, Jenna R., Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, and Kara Lavender Law. 2015. “Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean.” *Science* 347(6223): 768–71. doi:10.1126/science.1260352.

Latif, Adam, Irwan, Muhammad Rusdi, Ahmad Mustanir, and Muh Sutrisno. 2019. “Partisipasi Masyarakat Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Desa Timoreng Panua Kecamatan Panca Rijang Kabupaten Sidenreng Rappang.” *Jurnal MODERAT* 5(1): 1–15. <https://jurnal.unigal.ac.id/index.php/moderat/article/view/1898>.

Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018. “Permen PUPR 05/ PRT/M/2018 TENTANG PENETAPAN KELAS JALAN.” *Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia*: 1–20.

Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. 2017. “PERMEN PUPR Nomor 01/PRT/M/2017 Tentang Tata Cara Pelaksanaan Pengadaan Badan Usaha Untuk Pengusahaan Jalan Tol.” : 1–20.

Nasional, Badan Standarisasi. 2008. “SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.” *Badan Standar Nasional Indonesia*: 20.

Prameswari, Putri Ajeng, Priyo Pratomo, and Dwi Herianto. 2016. “Pengaruh Pemanfaatan PET Pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall.” *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)* 4(2): 294–305.

Priana, Surya Eka. 2018. “Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Lingkar Utara Kota Padang Panjang).” *Rang Teknik Journal* 1(1). doi:10.31869/rtj.v1i1.609.

Purnama, Asep. 2019. “Pengaruh Pendekatan Taktis Dan Teknik Dalam Pembelajaran Permainan Sepak Bola (Study Eksperimen Pada Siswa Kelas V SDN 150 GATOT SUBROTO).” *Molecules* 9(1): 23. <http://jurnal.globalhealthsciencegroup.com/index.php/JPPP/article/download/83/65%0Ahttp://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L603546864%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1155/2015/420723%0>

Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76.

- Purwanto, SS, and Tommi Putra. 2019. "Analisis Perkerasan Jalan Pramuka Kecamatan Gandus Kota Palembang Ditinjau Dari Segi Biaya." *Jurnal Teknik Sipil* 8(1): 31–43. doi:10.36546/tekniksipil.v8i1.224.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. 1990. "Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar. SNI 03-1968-1990." *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*: 1–17.
- Rulhendri, and Nurdiansyah. 2016. "Perencanaan Perkerasan Dan Peningkatan Geometrik Jalan." *Astonjadro* 5(1): 1–10. <https://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ASTONJADRO/article/view/829>.
- Setiawan, Deni. 2019. "Komputerisasi Perhitungan Parameter Marshall Untuk Rancangan Campuran Beton Aspal." *Jurnal Teknik Sipil* 4(1): 9–27. doi:10.28932/jts.v4i1.1293.
- SNI 1970. 2008. "Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus." *Badan Standar Nasional Indonesia*: 7–18. <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>.
- SNI 2417-2008. 2008. "Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta." *Badan Standardisasi Nasional*: 1–20. https://imsippoliban.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/5368_sni-2417_2008.pdf.
- SNI 2439. 2011. "Metode Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat-Aspal." *Standar Nasional Indonesia*: 1–11.
- Sugeng, DEA; Ir. Djunaedi Kosasih; M.Sc; Ph.D; Prof.Dr.Ir. Bambang. 2017. "Manual Desain." (02). inamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/02mbm2017-manual-desain-perkerasan-jalan.
- Sulila, Winangsi. 2015. "Analisa Mutu Material Aspal Retona Blend 55 Dan Aspal Minyak." *Jurnal Peradaban sains, rekayasa dan teknologi* 3(1): 29–34.
- Sulistyo, Juny Andry. 2020. "Analisis Pengaruh Rendaman Air Pasang (Rob) Terhadap Aspal Wearing Course."
- Susilowati, Anni, Eko Wiyono, and Pratikno. 2021. "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal Campuran Panas [Utilization of

Plastic Waste as an Additive in Hot Mixed Asphalt Concrete].” *Bangun Rekaprima* 7(2): 15–23.

Syahada, Aurny Maida, and Lutfia Khanifatul Aula. 2024. “Analisa Aspal Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Fly Ash (Substitusi Abu Batu) Dan Tanah (Substitusi Pasir).” <https://repository.unissula.ac.id/34361/>.

Telehala, Alberth. 2023. “Plastik Sebagai Bahan Campuran Aspal.” *Jurnal Sosial Teknologi* 3(2): 139–52. doi:10.59188/jurnalsostech.v3i2.646.

Warlani, Lina. 2019. “Pengelolaan Sampah Plastik Untuk Mitigasi Bencana Alam.” *Seminar Nasional FST Universitas Terbuka*: 89–110.

Wijayanti, Amelia, and Iphan Fitriana Radam. 2022. “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Ac-Wc.” *Jurnal Rivet* 1(02): 80–90. doi:10.47233/rivet.v1i02.350.

Yamali, Fakhrul Rozi, M Nuklirullah, and A Rahmad Saparudin. 2019. “Kajian Perkerasan Jalan Menggunakan Metode Analisa Komponen (Studi Kasus Peningkatan Jalan Simpang Talang Babat – Pangkal Bulian Kabupaten Tanjung Jabung Timur).” *Jurnal Talenta Sipil* 2(2): 57. doi:10.33087/talentasipil.v2i2.19.

