

**STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *CRUSHER DUST*
DAN ZAT *POLYURETHANE* PADA CAMPURAN BERASPAL
BERPORI**



TUGAS AKHIR

**“ Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Sipil (S1) Jenjang Pendidikan Strata-1”**

Diajukan Oleh:

Riska Wulandari

1810107009

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS PRADITA

2023

**STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *CRUSHER DUST*
DAN ZAT *POLYURETHANE* PADA CAMPURAN BERASPAL
BERPORI**

TUGAS AKHIR

**UNTUK MEMENUHI SEBAGIAN DARI SYARAT-SYARAT GUNA
MENCAPAI GELAR SARJANA TEKNIK SIPIL (S1)**

Oleh:

Riska Wulandari

1810107009



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS PRADITA

TANGERANG

2023

HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Nama : Riska Wulandari
NIM : 1810107009
Program Studi : Teknik Sipil
Bentuk Tugas Akhir : Skripsi
Peminatan Tugas Akhir : Transportasi
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Pemanfaatan *Crusher Dust*
dan Zat Polyurethane Pada Campuran Beraspal
Berpori

Diterima dan Disetujui untuk Diujikan

Tangerang, 18 Agustus 2023

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T.

Pembimbing II



Bella Koes Paulina Cantik. S.T., M. Eng.

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

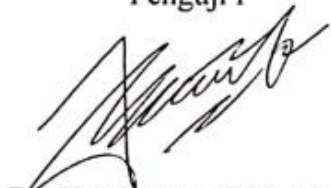
Nama : Riska Wulandari
NIM : 1810107009
Program Studi : Teknik Sipil
Bentuk Tugas Akhir : Skripsi
Peminatan Tugas Akhir : Transportasi
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Pemanfaatan *Crusher Dust* dan
Zat Polyurethane Pada Campuran Beraspal Berpori

Telah diujikan pada hari Senin, tanggal 28, bulan Agustus, tahun 2023

Dengan dinyatakan lulus

TIM PENGUJI

Penguji I


Dr. Van Basten, S.T., M.T.

Penguji II


Ir. Jason Lim, M.Eng., M.Sc.

Disahkan oleh:

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Mulyadi Sugih Dharsono, M.M., M.Kom., M.Th., D.M.S.

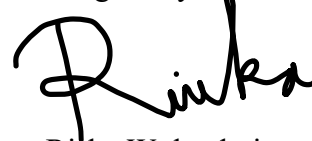
PERNYATAAN TIDAK PALGIAT

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang telah saya susun ini adalah benar karya ilmiah saya sendiri dan tidak mengandung unsur plagiat dari karya ilmiah orang lain (sebagian/seluruhnya). Semua karya ilmiah orang lain atau Lembaga lain yang dikutip dalam tugas akhir ini telah disebutkan sumber kutipannya dan dicantumkan di dalam Daftar Pustaka.

Jika di kemudian hari terbukti ditemukan kecurangan atau penyimpangan baik dalam pelaksanaan maupun penyusunan tugas akhir, maka saya bersedia untuk mendapatkan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku dan dinyatakan TIDAK LULUS.

Tangerang, 03 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Riska Wulandari

NIM : 1810107009

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Dengan ini saya sebagai civitas akademik Universitas Pradita yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Riska Wulandari

NIM : 1810107009

Program Studi : Teknik Sipil

Bentuk Tugas Akhir : Skripsi/~~Karya Ilmiah (Publikasi) /Karya Akhir (Pameran)~~
~~/Proyek Akhir~~

untuk meningkatkan pengembangan ilmu pengetahuan, memberikan skripsi/tugas akhir kepada Universitas Pradita Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*None-exclusive Royalty Free Right*) dengan judul:

**STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *CRUSHER DUST* DAN ZAT
POLYURETHANE PADA CAMPURAN BERASPAL BERPORI**

beserta dokumen tugas akhir yang ada sesuai ketentuan yang berlaku. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*None-exclusive Royalty Free Right*) ini, maka Universitas Pradita berhak menyimpan dan mengelola dalam bentuk *database*, dan mempublikasikan tugas akhir ini dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis tugas akhir ini sebagai penulis/pencipta dan pemilik Hak Cipta.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Tangerang, 18 Agustus 2023

Yang Menyatakan

Materai Rp. 10.000

Riska Wulandari

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat sehat dan selamat sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas Akhir ini berjudul “STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *CRUSHER DUST* DAN ZAT *POLYURETHANE* PADA CAMPURAN BERASPAL BERPORI” ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik guna mendapatkan gelar Sarjana Teknik Sipil Universitas Pradita, Tangerang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, tugas akhir ini tidak akan dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir, yaitu:

1. Bapak Rusdi dan Ibu Nunung Siti Nurjanah selaku orang tua penulis.
2. Damayansyah Rustaman selaku kakak penulis.
3. Kayla Audila selaku adik penulis
4. Bapak Ir. Mulyadi Sugih Dharsono, M.M., M.Kom., M.Th., D.M.S. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Universitas Pradita.
5. Ibu Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1.
6. Ibu Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing 2.
7. Dr. Van Basten S.T., M.T. Selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir
8. Ibu Afni Kurnia Tambing, S.T. selaku asisten dosen.
9. Bapak dan Ibu PT. Subur Brothers.

10. Mutiara Permata Dewi, Wike Andaresta Elsa Putri, Haykel Marcelinus Arapenta, Kenneth Sebastian Telussa, Julius Andrew, Basili Nabil Syamsuddin, Kelvin.
11. Keluarga Cendana & H.S *Family*
12. Abdalloh Hudzaifi & Kartika Widyadari Budiman selaku sahabat penulis
13. D’Joppy Squad, Albi, Youtuber Fossil, Shine selaku sahabat penulis.
14. Teman-teman mahasiswa program studi Teknik Sipil Universitas Pradita.

Akhir kata penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Tangerang, 03 Agustus 2023

Riska Wulandari

1810107009

ABSTRAK

Riska Wulandari (1810107009)

STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *CRUSHER DUST* DAN ZAT *POLYURETHANE* PADA CAMPURAN BERASPAL BERPORI

(vii+80 halaman; 13 gambar; 21 tabel; 3 lampiran)

Kerusakan jalan di Indonesia menjadi isu penting dalam pembangunan infrastruktur karena mempengaruhi mobilitas dan kenyamanan pengguna jalan serta memperburuk kondisi lalu lintas. Kerusakan jalan diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti genangan berlebih akibat intensitas hujan yang cukup tinggi, kapasitas infiltrasi menurun, kendaraan yang memiliki beban berlebih, kepadatan lalu lintas, maupun pembangunan infrastruktur yang tidak sesuai standar. Dalam upaya pengendalian limbah dan mengurangi pengambilan agregat alami di alam, maka limbah agregat hasil *stone crusher* ini dimanfaatkan sebagai bahan campuran. Selain itu penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol* sebagai bahan campuran beraspal berpori. Pengujian dilakukan dengan melakukan persiapan bahan, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Langkah tersebut dilakukan untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO). KAO yang telah didapatkan dapat digunakan untuk pembuatan benda uji dengan bahan tambahan *crusher dust* dan penambahan zat *polyol*. Didapatkan hasil bahwa penambahan komposisi limbah agregat dan penambahan *polyol* meningkatkan nilai stabilitas 146% dari campuran beraspal berpori tanpa limbah agregat dan *polyol*. Nilai stabilitas tertinggi didapatkan pada kadar limbah agregat 100% dan penambahan *polyol* 7,5% dengan nilai yang diperoleh 1273,99 kg. Penambahan variasi limbah agregat dan variasi *polyol* pada campuran beraspal berpori dapat mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas, stabilitas dan *flow*.

Kata Kunci: Beraspal Berpori, Limbah Agregat, *Polyurethane*, Stabilitas.

Referensi: 26 (2016-2022)

ABSTRACT

Riska Wulandari (1810107009)

EXPERIMENTAL STUDY OF THE UTILIZATION OF CRUSHER DUST AND POLYURETHANE SUBSTANCE IN POROUS ASPHALT

(vii+80 page; 13 picture; 21 table; 3 attachment)

Road damage in Indonesia has become a crucial issue in infrastructure development as it affects road users' mobility and comfort while exacerbating traffic conditions. Road damage is caused by several factors, such as excessive pooling due to high rainfall intensity, reduced infiltration capacity, overloaded vehicles, traffic density, and non-compliant infrastructure construction. In efforts to manage waste and reduce the extraction of natural aggregates from the environment, the waste aggregate from stone crushers is utilized as a mixing material. Furthermore, the addition of polyurethane substance, specifically polyol, is introduced as a component in porous asphalt mixtures. The testing procedure involves material preparation, material testing, specimen fabrication, and specimen testing. These steps are conducted to determine the optimum asphalt, which is subsequently used in the fabrication of test specimens with the inclusion of crusher dust and polyol as additive. The result indicates that the incorporation of waste aggregate composition and the addition of polyol enhance stability by 146% compared to porous asphalt mixture without waste aggregate and polyol addition, yielding a stability value of 1273,99 kg. Variations in waste aggregate polyol content in the porous asphalt mixture can influence the values of permeability coefficient, stability, and flow.

Keywords: Porous Asphalt, Waste Aggregate, Polyurethane, Stability

Reference: 26 (2016-2022)

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR	iii
PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK (Bahasa Indonesia)	ix
ABSTRAK (Bahasa Inggris)	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR PERSAMAAAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	5

1.6	Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....		8
2.1	Aspal.....	8
2.2	Agregat	10
2.2.1	Agregat Kasar	10
2.2.2	Agregat Halus	11
2.3	Perkerasan Pori	12
2.4	Limbah Agregat (<i>Crusher Dust</i>).....	14
2.5	<i>Polyurethane</i>	15
2.6	Pengujian Material.....	16
2.7	Kadar Aspal Optimum (KAO)	18
2.8	Marshall	18
2.9	Permeabilitas	21
2.10	Penelitian Terdahulu.....	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		25
3.1	Umum	25
3.2	Kerangka Penelitian.....	25
3.3	Persiapan Bahan	27
3.4	Pengujian Bahan	28
3.5	Perancangan Campuran	29
3.6	Benda Uji.....	31
3.3	Pengujian	32
3.3	Pengujian Hasil Analisis.....	33
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		34

4.1	Hasil Pengujian Material	34
4.1.1	Hasil Pengujian Agregat	34
4.1.2	Hasil Analisis Agregat	36
4.1.3	Hasil Pengujian Aspal	37
4.2	Perancangan Campuran Kadar Aspal Optimum	38
4.3	Pengujian Permeabilitas	41
4.4	Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Berpori	43
4.5	Pengujian Marshall	47
4.6	Perancangan Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan	55
4.7	Hasil Pengujian Permeabilitas Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan	57
4.8	Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan	61
4.9	Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan	64
	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	78
	DAFTAR PUSTAKA	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4.1	Pengujian Permeabilitas Campuran Beraspal Berpori	43
Gambar 4.2	Proses Pengujian Berat Jenis Maksimum.....	46
Gambar 4.3	Proses Pengujian Marshall	48
Gambar 4.4	Nilai Stabilitas KAO	52
Gambar 4.5	Nilai <i>Flow</i> KAO.....	53
Gambar 4.6	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	55
Gambar 4.7	Hasil Stabilitas Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah	67
Gambar 4.8	Hasil <i>Flow</i> Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah.....	68
Gambar 4.9	Hasil Pengujian Permeabilitas.....	70
Gambar 4.10	Hasil Nilai VMA	71
Gambar 4.11	Hasil Nilai VIM.....	73
Gambar 4.12	Hasil Nilai Marshall <i>Quotient</i>	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Pengujian Material	L-1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Marshall.....	L-2
Lampiran 3	Hasil Pengujian Permeabilitas	L-3

DAFTAR NOTASI

A	= Berat sampel kering oven (gram)
a	= Berat sampel awal (gram)
B	= Berat sampel kering permukaan jenuh di udara (gram)
b	= Berat sampel lebih besar saringan No. 12 (gram)
C	= Berat sampel jenuh air (gram)
D	= Berat piknometer berisi air pada suhu 25°C (Gram)
E	= Berat piknometer berisi air dan benda uji pada suhu 25°C (Gram)
E hisap	= Berat piknometer berisi air dan beda uji pada suhu 25°C (Gram)
F	= <i>Flow</i>
G_{mb}	= Berat jenis curah campuran padat
G_{mm}	= berat jenis maksimum campuran
G_{sb}	= Berat jenis curah agregat
MQ	= Marshall <i>Quotient</i> (kg/mm)
Ps	= Persen agregat terhadap berat total campuran
S	= Stabilitas (kg)
VFA	= Rongga terisi oleh aspal
VIM	= Rongga di dalam campuran
VMA	= Rongga di antara mineral agregat

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Untuk Aspal Keras	9
Tabel 2.2	Ketentuan Spesifikasi Agregat Kasar	10
Tabel 2.3	Ketentuan Spesifikasi Agregat Halus	11
Tabel 2.4	Spesifikasi Kinerja Beraspal Berpori.....	12
Tabel 2.5	Gradasi Agregat Campuran Beraspal Berpori AAPA.....	13
Tabel 2.6	Gradasi Agregat Campuran Beraspal Berpori NAPA.....	14
Tabel 4.1	Pengujian Agregat Halus	34
Tabel 4.2	Pengujian Agregat Kasar	35
Tabel 4.3	Analisis Saringan Agregat	36
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Aspal.....	37
Tabel 4.5	Perancangan Campuran Kadar Aspal Optimum	39
Tabel 4.6	Komposisi Berat Material	40
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Permeabilitas	41
Tabel 4.8	Data Pengujian Berat Jenis Campuran Beraspal Berpori	45
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Berat Jenis Campuran Beraspal Berpori.....	46
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Marshall	49
Tabel 4.11	Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Beraspal Berpori.....	51
Tabel 4.12	Komposisi Material Campuran Beraspal Berpori.....	56
Tabel 4.13	Hasil Permeabilitas Campuran Beraspal Berpori.....	58
Tabel 4.14	Data Berat Jenis Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah	61
Tabel 4.15	Hasil Berat Jenis Maksimum Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah.....	62

Tabel 4.16 Hasil Berat Jenis Maksimum Beraspal Berpori dengan Bahan
Tambah..... 65

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2-1	16
Persamaan 2-2	16
Persamaan 2-3	16
Persamaan 2-4	16
Persamaan 2-5	17
Persamaan 2-6	19
Persamaan 2-7	20
Persamaan 2-8	20
Persamaan 2-9	21
Persamaan 2-10	21
Persamaan 4-1	39
Persamaan 4-2	39
Persamaan 4-3	45
Persamaan 4-4	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerusakan jalan di Indonesia masih menjadi isu penting dalam pembangunan infrastruktur karena dapat mempengaruhi mobilitas dan kenyamanan pengguna jalan serta memperburuk kondisi lalu lintas. Kerusakan jalan dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti genangan berlebih akibat intensitas hujan yang cukup tinggi, kapasitas infiltrasi menurun, penggunaan kendaraan yang memiliki beban berlebih, kurangnya perawatan jalan, kepadatan lalu lintas. Hal tersebut berdampak pada kerusakan permukaan perkerasan lentur yang terkelupas dan berlubang. Dampak lainnya yaitu meliputi besarnya pengeluaran biaya untuk perbaikan, kemacetan lalu lintas, kecelakaan, kerugian ekonomi karena menurunnya efisiensi transportasi, dan kurangnya aksesibilitas (Sembung, 2020). Oleh karena itu, penting untuk melakukan perawatan dan perbaikan jalan secara teratur serta mengembangkan teknologi konstruksi jalan yang ramah lingkungan dan meningkatkan kapasitas infiltrasi, yaitu teknologi perkerasan jalan dengan campuran beraspal berpori.

Jalan campuran beraspal berpori atau *porous asphalt* merupakan jenis jalan yang dirancang untuk mencegah genangan berlebih pada permukaan jalan. Dengan adanya rongga pada campuran beraspal berpori menyebabkan campuran beraspal memiliki nilai stabilitas yang rendah namun dapat menghasilkan nilai permeabilitas yang tinggi (Arlia, 2018). Hal tersebut tepat digunakan pada wilayah yang memiliki intensitas curah hujan yang tinggi, yang seringkali menjadi penyebab terjadinya genangan air berlebih pada jalan raya yang berakibat pada penurunan kualitas jalan

serta meningkatkan resiko kecelakaan (Sihombing, 2020). Selain itu, perkerasan beraspal berpori dapat memberikan keuntungan lain seperti meningkatkan daya tahan jalan, mengurangi suara bising akibat lalu lintas, dan ramah terhadap lingkungan. Salah satu bahan utama dalam pembuatan beraspal berpori yaitu agregat. Agregat memiliki peranan penting dimana agregat menempati proporsi terbesar dalam campuran beraspal berpori. Umumnya agregat yang dibutuhkan pada campuran beraspal berpori berkisar antara 90%-95% dari keseluruhan berat total campuran beraspal (Ramlan, 2016).

Salah satu mesin agregat yang digunakan dalam konstruksi bangunan yaitu *Stone Crusher*. Mesin ini digunakan untuk menghancurkan batu hingga menjadi ukuran yang lebih kecil dengan kekuatan mekanik. Umumnya mesin ini digunakan untuk menghancurkan batu-batu yang berukuran besar menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan beton, aspal, dan bahan bangunan lainnya (Noor, 2020). Fungsi lain dari *stone crusher* yaitu dapat menghasilkan bahan baku yang berkualitas tinggi dan ukuran yang tepat dalam jumlah yang besar. Mesin ini juga dapat membantu meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi dalam industri konstruksi (Purba, 2021). Namun, pada konstruksi bangunan maupun jalan membutuhkan agregat yang sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan. Hal tersebut mengakibatkan limbah atau sisa pada pecahan batu yang diperoleh disebut *crusher dust*. *Crusher dust* tersebut umumnya dihasilkan dalam jumlah yang besar di lokasi-lokasi penghancuran batu seperti tambang, lokasi konstruksi, ataupun lokasi proyek konstruksi. Menurut Celik dan Marar (1996) agregat halus yang dihasilkan dari lokasi mesin pemecah batu mengandung sekitar 17-25% fraksi abu batu dan menurut Mosafer dan Dianat

(2013), mengungkapkan bahwa pada pabrik pemecah batu didapatkan 35% hingga 52,5% batu mentah diubah menjadi limbah padat. Limbah ini seringkali dibiarkan menumpuk di sekitar lokasi penghancuran dan dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti polusi udara dan pencemaran tanah karena limbah sulit untuk didaur ulang (Bina Marga, 2018). Oleh karena itu *crusher dust* dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku dalam campuran beraspal berpori. Selain *crusher dust*, adapun bahan tambah lain yang digunakan untuk pembuatan campuran aspal berpori yaitu polimer *Polyurethane*.

Polyurethane merupakan polimer yang digunakan pada proses *coating* yang menghasilkan selimut atau film yang keras, kuat, tahan terhadap bahan kimia serta gesekan, dapat meredam suara, ringan dan kaku terhadap bahan konstruksi (Makmur, 2017). Penambahan zat *polyurethane* pada campuran beraspal berpori dapat meningkatkan stabilitas *Marshall* tiga kali lipat dibanding tanpa penambahan *polyurethane* (Lin, 2018 dalam Candra, 2021). Dengan hal ini Polimer *polyurethane* memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas campuran beraspal berpori. Studi eksperimental tentang pemanfaatan *crusher dust* dan penambahan zat *polyurethane* pada campuran beraspal berpori merupakan sebuah upaya untuk meningkatkan nilai tambah dari limbah konstruksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membuka peluang baru dalam pengembangan beraspal berpori yang lebih tahan lama dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam memenuhi kebutuhan infrastruktur dibutuhkan batuan-batuan dengan ukuran kecil untuk menunjang kebutuhan material infrastruktur itu sendiri. Batuan-

batuan dengan ukuran kecil tersebut dapat dihasilkan melalui proses pemecahan batu. Pada proses pemecahan batu untuk menghasilkan material agregat yang lebih kecil dibutuhkan alat, salah satu alatnya yaitu *stone crusher*. Alat *stone crusher* merupakan sebuah mesin yang dirancang untuk mengurangi ukuran batu besar menjadi batu yang lebih kecil seperti kerikil ataupun abu batu. Pada proses pemecahan batu menggunakan mesin *stone crusher* terdapat agregat yang tidak lolos pada spesifikasi yang ditentukan. Hal tersebut menjadikan hasil *waste* atau limbah dari penggunaan mesin ini berlebih. Oleh karena itu sebagai upaya pengendalian limbah dan mengurangi pengambilan agregat alami di alam, maka *crusher dust* ini dimanfaatkan sebagai bahan campuran pada penelitian ini. Selain itu penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol* sebagai bahan campuran beraspal berpori. Kedua bahan utama ini yang akan digunakan dalam proses penelitian dan akan dilihat pengaruh komposisi dan kombinasi terhadap parameter-parameter Marshall yaitu stabilitas, *flow*, dan nilai permeabilitas.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini menjawab rumusan masalah yang telah diidentifikasi yaitu mengetahui pengaruh komposisi dan kombinasi *crusher dust* pada campuran beraspal berpori, serta penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol* sebagai bahan campuran beraspal berpori, terhadap parameter-parameter Marshall yaitu stabilitas, *flow*, dan permeabilitas.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini dapat menjadi salah satu alternatif solusi dalam meningkatkan kualitas jalan berpori yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.
- b. Pemanfaatan *crusher dust* sebagai bahan substitusi pada campuran beraspal berpori dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat pembuangan limbah tersebut.
- c. Memberikan kontribusi bagi pelaku konstruksi khususnya pada bidang infrastruktur dalam mengelola limbah agar dapat dimanfaatkan secara optimal dengan memperhatikan aspek lingkungan dan ekonomi dan bagi pembaca mengenai pemanfaatan limbah konstruksi, khususnya limbah agregat hasil *stone crusher*, untuk digunakan kembali.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Berikut merupakan ruang lingkup yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- a. Limbah konstruksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah agregat hasil penghancuran batu (*crusher dust*) dengan variasi 0%, 50%, dan 100%.
- b. Pencampuran polimer *polyurethane* yaitu tipe *polyol* sebagai bahan campuran beraspal berpori dengan variasi kadar 5%, 7,5%, dan 10%.
- c. Pembuatan benda uji campuran beraspal berpori dengan variasi kadar beraspal yang digunakan 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.
- d. Pengujian material-material pembentuk campuran beraspal berpori mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI).
- e. Pengujian *Marshall* yang dilakukan berdasarkan SNI 2489-2018 mengenai metode pengujian campuran beraspal menggunakan alat *Marshall*.

- f. Standar hasil pengujian karakteristik campuran beraspal berpori dan pembuatan *mix design* mengacu pada *Nasional Asphalt Pavement Association* (NAPA) 2002 dan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA).

1.6 Sistematika Penulisan

Penjelasan pada penyusunan laporan tugas akhir ini dijelaskan secara rinci penulisannya pada masing-masing bab yaitu sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian mengenai limbah agregat hasil penghancuran batu yang sudah tidak bisa digunakan kembali yang akan memberikan dampak buruk pada lingkungan akibat dari limbah yang terus menumpuk.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab kedua ini menjelaskan tentang *crusher dust*, *Polyurethane* tipe *polyol*, Beraspal Berpori, Penelitian Terdahulu yang mendukung berhubungan dengan penyelesaian masalah penelitian ini.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Pada bab ketiga ini akan disajikan penjelasan umum, diagram alir mengenai metode penelitian yang digunakan pada proses penelitian ini. Diagram ini akan dibuat mulai dari persiapan bahan, pengujian bahan, perancangan campuran, pembuatan benda uji tanpa campuran limbah dan zat *polyurethane* tipe *polyol* untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Setelah itu dilakukan persiapan bahan untuk proses pembuatan benda uji dengan bahan tambah limbah dan zat *polyol*, yang selanjutnya diujikan terhadap nilai parameter Marshall.

Bab 4 Analisis dan Pembahasan

Pada bab 4 ini menyajikan mengenai hasil-hasil pengujian material yang terdiri dari material agregat dan aspal. Hasil pengujian material yang telah didapatkan dan lolos dari kualifikasi yang ditentukan, maka bisa dilanjutkan untuk membuat benda uji dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Benda uji dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan pengujian. Pengujian-pengujian yang dilakukan yaitu mengenai pengujian permeabilitas, pengujian Marshall yang meliputi nilai stabilitas dan *flow*. KAO yang telah didapatkan dan ditentukan selanjutnya akan digunakan dalam pembuatan benda uji campuran beraspal berpori dengan menstutubsi agregat alami dengan *crusher dust* serta penambahan zat *polyol*.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Pada bab 5 ini menyajikan mengenai kesimpulan dari seluruh hasil yang telah didapatkan serta saran dalam mengembangkan penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Aspal adalah bahan pengikat berwarna hitam atau coklat tua yang terdiri dari campuran minyak mentah berat dan fraksi lainnya yang mengandung hidrokarbon. Pada umumnya digunakan dalam konstruksi jalan, bandara, dan atap bangunan. (Kurniawan, 2019). Pada campuran perkerasan jalan, aspal menempati komposisi 4% – 10% dari berat campuran perkerasan jalan (Sukiman, 2016). Aspal memiliki beberapa sifat yang penting dalam penggunaannya seperti sifat viskositas, elastisitas, stabilitas termal, adhesi dan kohesi. Viskositas mempengaruhi kemampuan aspal untuk mengalir dan menyebar pada permukaan. Aspal juga harus memiliki sifat elastisitas yang cukup untuk menahan deformasi dan retak pada permukaan perkerasan jalan. Selain itu aspal harus stabil secara termal dan tahan terhadap air dan kelembaban, serta sifat adhesi yang baik untuk melekatkan agregat dan bahan lain dalam campuran aspal pada perkerasan jalan (Ginting, 2019). Aspal terbagi kedalam 3 jenis yaitu aspal keras, aspal cair dan aspal emulsi.

Aspal keras merupakan aspal yang jika dipanaskan pada temperatur tertentu aspal akan melunak atau mencair sehingga aspal ketika dicampurkan pada agregat dapat mengikat partikel agregat dan ketika temperatur pada aspal turun maka aspal akan mengeras (Ardiansyah, 2018). Aspal keras memiliki beberapa nilai penetrasi mulai dari penetrasi rendah 40/55, 60/70 dan penetrasi tinggi 80/100, 100/110. Aspal keras dengan penetrasi 40/55 biasa digunakan untuk jalan dengan tingkat volume lalu lintas tinggi dan aspal dengan penetrasi 60/70 digunakan dengan

tingkat volume lalu lintas sedang atau tinggi. Sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi 80/100 biasa digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas sedang atau rendah dan aspal dengan penetrasi 100/110 biasa digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah. Aspal cair merupakan aspal keras yang dilarutkan dengan bahan pelarut berbasis minyak. Aspal cair umumnya diperoleh dari pengolahan minyak bumi, dan memiliki sifat yang tahan terhadap air, api, dan keausan. Sedangkan aspal emulsi merupakan aspal yang campuran didalamnya berisi air dan bahan pengemulsinya yang bentuknya lebih cair (Ginting, 2019). Aspal memiliki nilai penetrasi yang sering digunakan di Indonesia yaitu aspal penetrasi 60 dengan nilai penetrasi di antara 60–70 (Bina Marga, 2020). Aspal keras dengan nilai penetrasi 60–70 memiliki spesifikasi dan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi untuk Aspal Keras

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Penetrasi 60-70
Penetrasi pada 25° C	SNI 2456:2011	60-70
Viskositas kinematis 135° C	ASTM D2170-10	≥300
Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48
Daktilitas pada suhu 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥100
Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232
Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥99
Berat jenis	SNI 2441:2011	≥1,0
Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤2

Sumber : Bina Marga, 2018

Tabel 2.1 menunjukkan mengenai spesifikasi untuk aspal yang dapat diukur dengan beberapa parameter, diantaranya adalah penetrasi 60/70 yang menunjukkan tingkat kekerasan yang diinginkan dalam rentang 60 hingga 70. Selain itu, viskositas kinematis $\geq 300^{\circ}\text{C}$ menggambarkan kekentalan aspal, titik lembek ≥ 48 menunjukkan perubahan aspal terhadap suhu, dan daktilitas ≥ 100 mengindikasikan fleksibilitas aspal. parameter lainnya, seperti titik nyala ≥ 232 , berat jenis, kelarutan

dalam *Trichloroethylene*, dan kadar paraffin lilin dapat digunakan untuk menilai mutu aspal.

2.2 Agregat

Agregat, yang berasal dari batuan di dalam tanah, digunakan sebagai bahan konstruksi untuk perkerasan jalan dengan tujuan menopang beban lalu lintas. Kualitas dan sifat yang baik dari agregat sangat penting untuk melapisi muka aspal, yang berfungsi sebagai penghalang utama untuk menahan dan mendistribusikan beban ke lapisan di bawahnya (Gasruddin dkk, 2019). Menurut Bina Marga agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Agregat merupakan bahan padat penyusun yang digunakan untuk mendapatkan stabilitas pada campuran . Agregat sebagai bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*.

2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan material granular yang tertahan pada saringan yang ukuran butirannya lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm). Agregat kasar harus berupa batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Agregat kasar digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal karena dapat memberikan kekuatan dan stabilitas pada struktur (Bina Marga, 2020). Spesifikasi untuk agregat kasar adalah sebagai berikut;

Tabel 2.2 Ketentuan Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modif	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	Semua jenis Campuran Beraspal		Maks. 30%
	Bergradasi lainnya		Maks. 8%
	100 putaran		
	500 putaran		
	100 Putaran		
	500 Putaran		Maks. 40%

Tabel 2.2 Ketentuan Spesifikasi Agregat Kasar (Lanjutan)

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619:2012	100/90 95/90
Partikel pipih dan lonjong	SNI 8287:2016 perbandingan 1:5	Maks. 5% Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks.1 %

Sumber: Bina Marga, 2020

Tabel 2.2 mengenai ketentuan spesifikasi agregat kasar menunjukkan mengenai nilai dan metode pengujian yang dilakukan dalam setiap pengujian agregat kasar mulai dari pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles*, pengujian kelekatan agregat terhadap aspal, pengujian butir pecah pada agregat kasar, pengujian partikel pipih dan lonjong, dan pengujian material lolos ayakan No. 200. Pengujian-pengujian yang dilakukan harus mendapatkan nilai yang sudah ditentukan dalam spesifikasi pada Tabel 2.3

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang ukuran butirannya lolos atau lebih kecil dari saringan no. 4 (4,75 mm) dan maksimum lolos ayakan saringan No. 200 (0,075 mm) sebesar 10% (Bina Marga , 2020). Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal karena dapat memberikan kehalusan pada permukaan aspal. Spesifikasi acuan yang digunakan sebagai parameter penggunaan agregat halus yaitu sebagai berikut;

Tabel 2.3 Ketentuan Spesifikasi Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Minimal 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Minimal 45
Gumpalan lempung dan butir-butir	SNI 03-414-1996	Maksimal 1%
Agregat lolos ayakan no.200	ASTM C1 17:2012	Maksimal 10%

Sumber: Bina Marga, 2020

Tabel 2.3 mengenai ketentuan spesifikasi agregat halus menunjukkan mengenai nilai dan metode pengujian yang dilakukan dalam setiap pengujian agregat halus. Pengujian-pengujian yang dilakukan harus mendapatkan nilai yang sudah ditentukan dalam spesifikasi pada Tabel 2.3.

2.3 Perkerasan Pori

Perkerasan pori atau beraspal berpori adalah salah satu jenis campuran beraspal yang memiliki pori-pori atau rongga pada strukturnya, yang dirancang untuk meningkatkan drainase air permukaan jalan dan mengurangi efek permukaan jalan yang panas. Campuran dominannya adalah agregat kasar, hal ini berfungsi untuk meningkatkan gaya gesek, memitigasi terjadinya genangan air pada lapis permukaan jalan, dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air di sekitar jalan, karena air hujan dapat diserap oleh pori-pori campuran beraspal berpori dan kemudian meresap ke dalam tanah disekitar jalan.

Dengan ini dapat meminimalisir kerugian permukaan jalan rusak yang diakibatkan oleh air. Campuran beraspal berpori memiliki karakteristik fungsionalnya yaitu kemampuan untuk meredam suara lalu lintas, kemudahan dalam perawatan dan perbaikan, serta umur pemakaian yang lebih lama dibandingkan dengan jenis campuran aspal konvensional (Mardiana, 2020). Spesifikasi kinerja beraspal berpori dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Spesifikasi Kinerja Beraspal Berpori

No	Kinerja	Spesifikasi
1	Stabilitas	>500 kg
2	<i>Flow</i>	2-6 mm
3	Permeabilitas	0,01 cm/detik

Sumber: *Australian Road Standart*, 2002

Tabel 2.4 menunjukkan mengenai spesifikasi kinerja pada beraspal berpori. Nilai stabilitas yang harus didapatkan yaitu >500 kg, nilai *flow* yang didapatkan 2-6 cm, dan permeabilitas beraspal berpori 0,01 cm/detik.

Perencanaan campuran berfungsi untuk mendapatkan suatu campuran yang memenuhi syarat yang berlaku dalam penyusunan beraspal dan agregat kedalam suatu campuran. Pembuatan campuran beraspal dengan komposisi yang baik diharapkan menghasilkan campuran yang baik. Beraspal berpori merupakan aspal bergradasi terbuka yang mempunyai ukuran butir sama atau sejenis dengan komposisi persentase agregat kasar antara 70%-85% sedangkan agregat halus 15%-30% dari berat total campuran (Ismayalomi, 2019). Pada campuran beraspal berpori ini menggunakan persyaratan gradasi yang ditentukan menggunakan standar AAPA 2004 dan NAPA seperti pada table 2.5 dan 2.6

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Campuran Beraspal Berpori

Sifat-Sifat	<i>Mix Designation</i>		
	UTA 10	UGO 10	OGA14
	<i>Percentage Passing Sieve Size (by mass)</i>		
19	-	-	100
13,2	100	100	85-100
9,5	80-100	85-100	45-70
6,7	30-55	35-70	25-45
4,75	18-36	20-45	10-25
2,36	14-30	10-20	7-15
1,18	10-25	6-14	6-12
0,6	7-20	5-10	5-10
0,3	6-12	4-8	4-8
0,15	4-8	3-7	3-7
0,075	100	2-5	2-5
Total	100	100	100
<i>Binder Content (% by mass)</i>	4,7-5,4	5,0-6,5	4,5-6,0

Sumber: AAPA, 2004

Tabel 2.5 berisikan mengenai spesifikasi dari *Australian Asphalt Pavement Association* 2004, terkait gradasi agregat yang diperlukan untuk pembuatan campuran beraspal berpori. Gradasi tersebut merupakan pembagian persentase penggunaan agregat yang diperlukan dalam campuran beraspal berpori. Dalam

campuran beraspal berpori terdapat pula kadar aspal rencana yang akan digunakan mulai dari 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Campuran Beraspal Berpori

<i>Sieve Size (inch/mm)</i>	<i>Percent Passing (%)</i>
0,75/19	100
0,50/12,5	85-100
0,375/9,5	55-75
No. 4/4,75	10-25
No. 8/2,36	5-10
No. 200/0,075	2-4
<i>Binder Content</i>	<i>6,0-6,5%</i>

Sumber: NAPA, 2002

Tabel 2.6 tercantum persyaratan menurut *National Asphalt Pavement Association* (NAPA, 2002) mengenai gradasi agregat yang digunakan dalam pembuatan beraspal berpori.

2.4 Limbah Agregat (*Crusher Dust*)

Limbah menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) merupakan sisa proses produksi atau bahan yang tidak dan belum memiliki nilai ekonomis atau nilai guna dalam pembuatan dan pemakaian. Agregat merupakan material yang terdiri dari beberapa butiran di dalamnya seperti kerikil, batu pecah, dan pasir (Bina Marga, 2018). Maka limbah agregat merupakan suatu sisa butiran yang tidak dapat lagi digunakan dan dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan sekitar apabila tidak bisa digunakan kembali. Salah satu limbah konstruksi infrastruktur yang dihasilkan adalah *crusher dust*.

Crusher dust merupakan salah satu jenis limbah yang dihasilkan sebagai hasil sampingan dari proses penghancuran batu atau material batuan menggunakan mesin *stone crusher*. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan ukuran batu yang lebih kecil, yang kemudian dapat digunakan dalam berbagai keperluan konstruksi seperti pembuatan beton, aspal, dan material lainnya. Material yang

tidak memenuhi kriteria spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi tertentu, serta partikel-partikel debu dan material lainnya. Namun, seiring dengan proses penghancuran ini, terbentuk material yang tidak memenuhi kriteria spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi konstruksi tertentu, serta partikel-partikel debu dan material halus yang dilepaskan ke udara selama proses operasi (Purwanto, 2019).

Crusher dust memiliki potensi dampak lingkungan yang perlu dikelola dengan bijak. Partikel debu dapat berkontribusi terhadap pencemaran udara dan dapat berdampak buruk pada Kesehatan manusia jika terhirup. Selain itu, *crusher dust* yang tidak dikelola dengan baik mengakibatkan penumpukan material di area pengolahan, menyebabkan masalah lingkungan visual dan potensi kontaminasi tanah dan air.

2.5 Polyurethane

Polyurethane merupakan bahan polimer terbentuk dari reaksi antara *isocyanate* dan *polyol* yang dibuat secara sintesis dan membentuk cairan yang memiliki sifat *flexible* dan pengaplisannya. *Polyurethane* tipe *isocyanate* ini memiliki sifat kekakuan sedangkan *polyol* memiliki sifat fleksibilitas yang tinggi (Sutanto, 2016). Tambahan campuran *polyurethane* memiliki sifat elastis yang baik hal ini dapat menahan deformasi berlebihan, meningkatkan nilai ketahanan terhadap air, tahan terhadap korosi campuran dapat lebih elastis, tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap retak dalam suhu rendah dan dapat meningkatkan stabilitas campuran beraspal serta dapat menurunkan kebisingan jalan (Lin, 2019 dalam Candra, 2021) . Dalam campuran beraspal berpori, *polyurethane* khususnya *polyol* digunakan sebagai bahan pengisi untuk meningkatkan ketahanan aus campuran

beraspal berpori (Wijaya, 2017). Zat *polyurethane* mudah untuk didapatkan, zat ini tersedia pada toko-toko yang menjual bahan-bahan kimia.

2.6 Pengujian Material

Pengujian Material, terdapat dua material yang melewati tahap pengujian yaitu material agregat dan material beraspal. Hasil pengujian kedua material ini harus memenuhi syarat yang digunakan. Pengujian agregat terdiri dari analisa saringan, berat jenis dan penyerapan untuk agregat kasar dan halus, dan pengujian abrasi. Pada pengujian analisa saringan agregat pengujian ini merupakan salah satu pengujian penting untuk mengevaluasi kualitas agregat yang digunakan pada campuran beraspal. Pengujian ini dilakukan dengan memisahkan agregat menjadi beberapa ukuran dengan menggunakan serangkaian saringan berlubang dengan ukuran yang berbeda.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian berat jenis dan penyerapan agregat merupakan salah satu pengujian penting untuk menentukan kualitas agregat yang akan digunakan dalam campuran aspal. pengujian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan agregat dalam penyerapan aspal. Dibawah ini merupakan formula agar mendapatkan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat.

$$\text{Berat Jenis Oven (Bulk)} = \frac{A}{B-C} \quad (2-1)$$

$$\text{Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)} = \frac{B}{B-C} \quad (2-2)$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent)} = \frac{A}{A-C} \quad (2-3)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (2-4)$$

Keterangan:

A = Berat sampel kering oven (gram)

B = Berat sampel kering permukaan jenuh di udara (gram)

C = Berat sampel jenuh air (gram)

Selanjutnya pengujian keausan agregat pengujian ini merupakan pengujian yang dilakukan dalam menentukan kemampuan agregat dalam menahan beban lalu lintas yang terus menerus, dan untuk mengetahui tingkat keausan yang terjadi pada agregat setelah diuji. Pengujian keausan agregat dapat dilakukan menggunakan metode *Los Angeles Abrasion Test* atau metode pengujian lain yang disesuaikan dengan kebutuhan.

$$\text{Keausan (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2-5)$$

Keterangan:

a = Berat sampel awal (gram)

b = Berat sampel lebih besar saringan No. 12 (gram)

Selain pengujian pada material agregat, pengujian pada material aspal perlu dilakukan. Pengujian aspal terdiri dari pengujian daktilitas, titik lembek, titik nyala, titik bakar, berat jenis aspal, penetrasi dan penyelimutan aspal pada campuran. Pengujian daktilitas aspal dilakukan untuk mengetahui kemampuan aspal dalam menahan deformasi atau perubahan bentuk pada suhu tinggi dan tekanan yang diberikan. Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal dilakukan untuk mengetahui sifat keamanan dari aspal saat digunakan. Pengujian titik lembek aspal dilakukan untuk mengetahui suhu dimana aspal mulai menjadi lunak dan dapat membentuk alur jika diberi tekanan dengan alat khusus.

Pengujian penyelimutan dan pengelupasan pada campuran benda uji dilakukan untuk mengetahui kemampuan campuran aspal dalam menahan deformasi dan keausan. Pengujian berat jenis aspal dilakukan untuk mengetahui

massa jenis aspal yang digunakan dalam konstruksi jalan. Pengujian kadar aspal dengan cara ekstraksi dilakukan untuk mengetahui kadar aspal dalam campuran aspal. semua pengujian ini penting dalam menentukan kualitas campuran aspal dan ketahanannya terhadap deformasi serta memperkirakan usia layanan jalan yang dibangun.

2.7 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum (KAO) merupakan jumlah aspal yang diperlukan dalam campuran aspal agar mencapai sifat fisik dan mekanik yang optimal. Kadar aspal optimum ini biasanya ditentukan melalui uji *Marshall* atau uji lainnya pada campuran beraspal (Purwanto dkk, 2019). Pada penelitian ini terdapat 5 kadar aspal yang akan diuji untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

2.8 Marshall

Uji *Marshall* dilakukan dengan alat *Marshall* yang terdiri dari alat tekan untuk yang memberikan pembebanan pada benda uji dalam mendapatkan angka yang mengukur parameter *Marshall*. Kinerja beraspal ditentukan pada pengujian *density*, stabilitas dan *flow*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Agregate* (VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA) dan *Marshall Quotient* (MQ).

Density merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kepadatan dengan memperhitungkan berat volume. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *density*, diantaranya suhu pemadatan, komposisi campuran,

bahan *filler*, dan bahan aspal. besar nilai *density* pada campuran harus memenuhi spesifikasi yaitu lebih dari 2 gr/cm³ (Bina Marga, 2020).

Stabilitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu benda uji dalam menahan beban maksimum dengan menggunakan laju pembebanan 50,8 mm/menit. Gradasi agregat dalam campuran mempengaruhi nilai stabilitas. Nilai stabilitas harus memenuhi persyaratan minimal sebesar 800 kg (Bina Marga, 2020).

Flow merupakan pengukuran yang dilakukan ketika pengujian stabilitas dilakukan. Nilai *flow* didapat setelah benda uji mengalami perubahan bentuk vertikal akibat beban maksimum yang diterapkan saat pembebanan. Besar nilai *flow* menunjukkan kelenturan campuran aspal atau perubahan bentuk akibat pembebanan. Spesifikasi untuk nilai *flow* yang diharapkan pada campuran beraspal adalah antara 2 hingga 4 milimeter (Bina Marga, 2020).

Void in Mix (VIM) merupakan total volume udara atau rongga udara pada campuran beraspal. VIM berperan dalam mencegah *bleeding* dan oksidasi pada campuran beraspal. Besarnya VIM dipengaruhi oleh kadar aspal, dimana penambahan kadar aspal akan mengisi rongga udara sehingga volume rongga udara akan berkurang. Syarat yang harus dipenuhi terkait nilai VIM adalah sebesar 3% hingga 5% (Bina Marga, 2020).

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (2-6)$$

Keterangan

VIM = Rongga di dalam campuran

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran

Void Filled Asphalt (VFA) adalah presentase rongga udara yang diisi oleh aspal dalam campuran beraspal, tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat.

Semakin besar nilai VFA, semakin banyak rongga udara dalam campuran yang diisi oleh aspal. hal ini dapat menyebabkan *bleeding*. Persyaratan untuk besaran nilai VFA adalah lebih besar dari 65% (Bina Marga, 2020).

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2-7)$$

Keterangan:

VFA = Rongga terisi oleh aspal

VMA = Rongga di antara mineral agregat

VIM = Rongga di dalam campuran beraspal

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persentase rongga di antara mineral agregat dalam campuran beraspal, termasuk rongga yang diisi oleh aspal pada mineral. Besar nilai VMA dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kadar aspal, gradasi agregat, jumlah tumbukan, dan pemadatan. Semakin kecil nilai VMA, semakin rendah durabilitas campuran, sedangkan semakin besar nilai VMA, stabilitas menurun dan penyerapan agregat terhadap aspal meningkat. Persyaratan untuk nilai VMA pada campuran adalah lebih besar dari 16% (Bina Marga, 2020).

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2-8)$$

Keterangan:

VMA = Rongga di antara mineral agregat

G_{sb} = Berat jenis curah agregat

G_{mb} = Berat jenis curah campuran agregat

P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beraspal. MQ berguna untuk mengevaluasi ketahanan campuran beraspal terhadap tegangan geser dan deformasi. Semakin besar nilai MQ, maka campuran beraspal semakin kaku dan cenderung mudah getas. Persyaratan nilai MQ pada campuran beraspal adalah berkisar antara 200 hingga 500 kg/mm (Bina Marga, 2020).

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (2.9)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)

F = *Flow*

2.9 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kapabilitas dari struktur pori pada suatu permukaan yang memungkinkan air untuk melewati pori-pori tersebut. Dalam menghitung nilai koefisien permeabilitas (k), dapat digunakan perangkat uji permeabilitas dengan metode *falling head permeability*. Dalam metode ini air mengalir secara bebas melalui rongga-rongga pori didalam struktur pori permukaan yang sedang diuji. Pada pengujian ini diperlukan persiapan benda uji, alat uji permeabilitas, melakukan pengisian air, pengukuran waktu, pengukuran tinggi air, dan menganalisis data yang sudah didapatkan pada proses pengujian. Perhitungan pengujian permeabilitas dihitung berdasarkan Hukum Darcy seperti pada persamaan 2.10.

$$k = 2,3 \times \frac{aL}{At} \times \left[\log \frac{H_1}{H_2} \right] \quad (2.10)$$

Keterangan :

k = Koefisien Permeabilitas (cm/detik)

a = Luas penampang kecil (cm²)

L = Tinggi benda uji (cm)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

t = Waktu air mengalir dari H1 ke H2 (detik)

H₁ = Tinggi batas air atas tabung (cm)

H₂ = Tinggi batas air bawah tabung (cm)

2.10 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini memiliki hubungan dengan dua penambahan campuran yaitu substitusi agregat dengan menggunakan limbah beton dan penambahan campuran *polyurethane* sebagai pengikat agregat dan beraspal yang hasilnya terhadap parameter-parameter Marshall yaitu nilai stabilitas, *flow* dan permeabilitas. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan:

- a. Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porous dengan Penambahan *Polyurethane* (Candra dkk, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja beraspal berpori dengan memodifikasi aspal menggunakan *polyurethane*. Tujuan ini dicapai dengan menganalisis karakteristik campuran beraspal berpori dengan penambahan berbagai kadar *polyurethane* yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari berat aspal. metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter Marshall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *polyurethane* dalam beraspal berpori meningkatkan stabilitas, aliran, dan nilai *Modulus Quotient* (MQ), serta menurunkan nilai *Voids in Mineral Aggregate* (VIM). Berdasarkan nilai stabilitas, kadar *polyurethane* terbaik untuk campuran beraspal berpori adalah 2%.
- b. Pengaruh Penambahan *Polyurethane* Terhadap Stabilitas Campuran Beraspal Berpori (Gunaran dkk, 2016). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi masalah limpasan air pada permukaan jalan, khususnya di lahan parkir. Peneliti mencoba untuk mengembangkan campuran beraspal berpori yang dicampur dengan polimer *polyurethane* agar dapat meningkatkan kekuatan dan stabilitas aspal, serta menciptakan rongga pori pada campuran yang dapat dilewati oleh air tanpa mengurangi kekuatan aspal pori. Dalam

penelitian ini, digunakan lima kadar bahan polimer *polyurethane* (*Isocyanate* dan *Polyol*), yaitu 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15%, dan pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Marshall* untuk memperoleh parameter-parameter *Marshall*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas benda uji menurun ketika kadar polimer *Polyurethane* mencapai 10%, dan pada kadar 15% hasilnya hampir sama dengan benda uji tanpa polimer. Namun, penambahan *polyurethane* memberikan stabilitas yang lebih besar dari persyaratan, yaitu 47,42% atau setara dengan 450 kg.

- c. Pengaruh Penambahan Variasi *Polyurethane* Terhadap Peningkatan Karakteristik Campuran Aspal Berpori (Makmur dkk, 2017). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efek penambahan polimer *polyurethane* pada campuran aspal pori melalui pengujian lima kadar bahan polimer *polyurethane* (*Isocyanate* dan *Polyol*), yaitu 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15%, dengan mencoba perbandingan tipe A dan tipe B (yaitu 75%:25% dan 25%:75%). Penelitian ini menggunakan metode *Marshall* untuk pengujian campuran dan prinsip hukum *Darcy* untuk pengujian permeabilitas dengan tujuan memperoleh hasil perbandingan yang mempengaruhi campuran secara positif. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan zat *isocyanate* lebih besar dari *polyol* (75%:25%) memiliki efek peningkatan stabilitas campuran yang signifikan karena sifatnya yang membuat campuran menjadi lebih kaku. Stabilitas terbesar terlihat pada penambahan polimer 15%, dengan hasil stabilitas mencapai 750,8 kg. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan dalam perancangan jalan perkerasan pori untuk menopang beban lalu lintas yang sedang hingga berat.

d. *The Use of Polyurethane for Asphalt Pavement Engineering Applications: A State of the-art Review* (Cong.L, 2019). Penelitian ini menunjukkan bahwa campuran beraspal yang ditambahkan dengan *polyurethane* memiliki ketahanan deformasi, layanan usia, dan ketahanan akan suhu tinggi yang baik. Selain itu campuran beraspal yang ditambahkan dengan *polyurethane* dapat meningkatkan stabilitas suhu dan sifat mekanik dari aspal emulsi. Manfaat campuran *polyurethane* memiliki sifat yang sangat baik dan dapat digunakan untuk menyiapkan perkerasan fungsional, seperti penetrasi air, meminimalisir kebisingan.

Dari keseluruhan hasil penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan *polyurethane* pada campuran beraspal berpori dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran. Keterbaruan dari penelitian yang akan dilakukan adalah memanfaatkan limbah konstruksi khususnya pada limbah agregat hasil *stone crusher* dengan perbandingan komposisi antara agregat alami dan limbah agregat yaitu 50% dan 100% limbah agregat hasil *stone crusher* serta penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol* dengan kadar 5%, 7,5%, dan 10%.

BAB 3

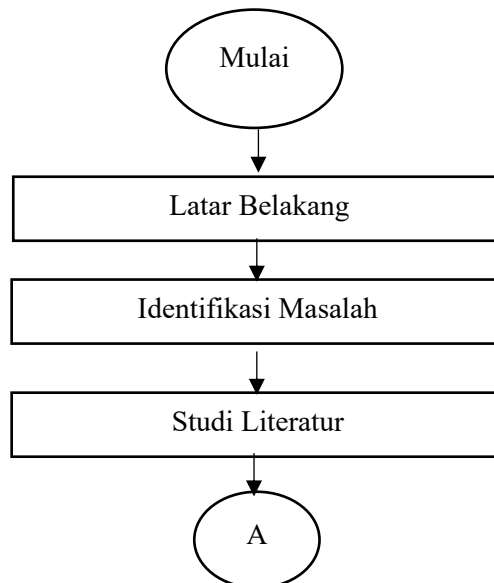
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

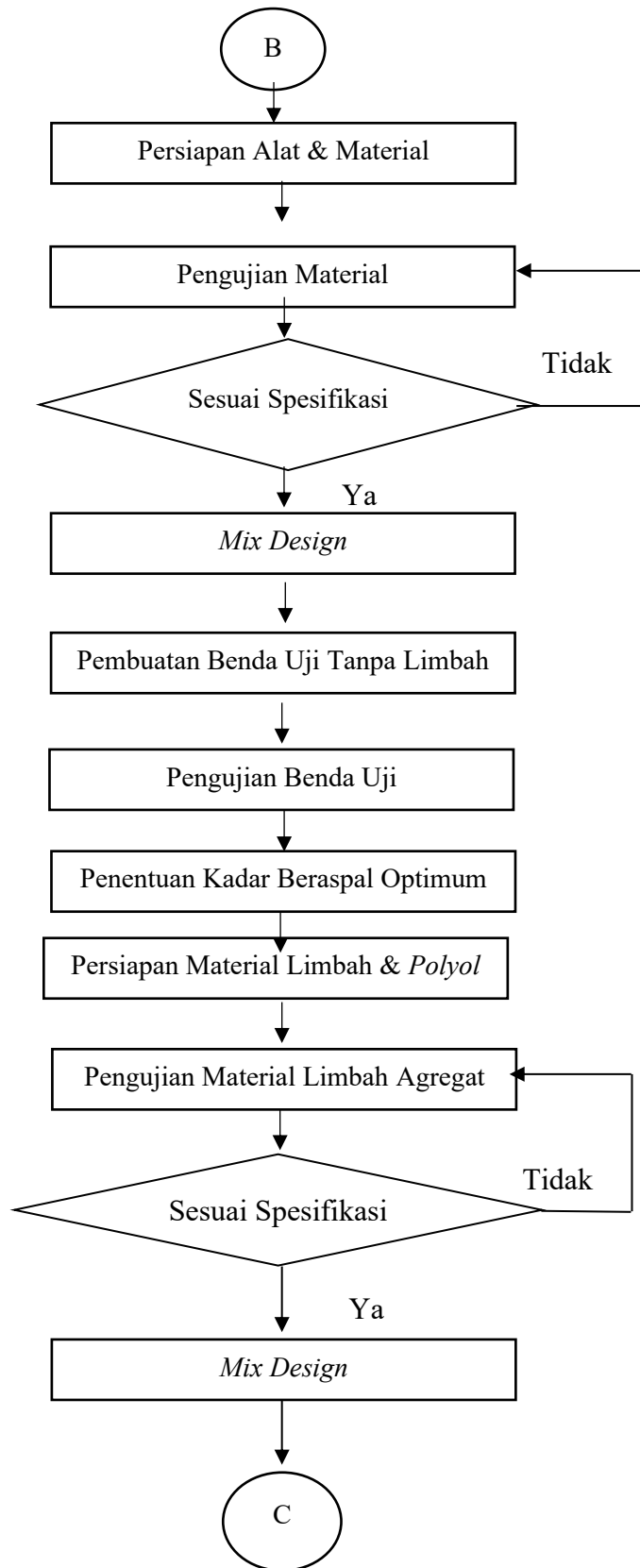
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode ini digunakan untuk menguji hipotesis yang diidentifikasi. Dalam penelitian yang akan dilakukan yaitu membuat campuran beraspal berpori dengan variasi kombinasi antara *crusher dust* dan penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol*. Selanjutnya, campuran tersebut akan diuji pada pengujian Marshall. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pradita *Research and Innovation Center* dan Laboratorium PT. Subur Brothers.

3.2 Kerangka Penelitian

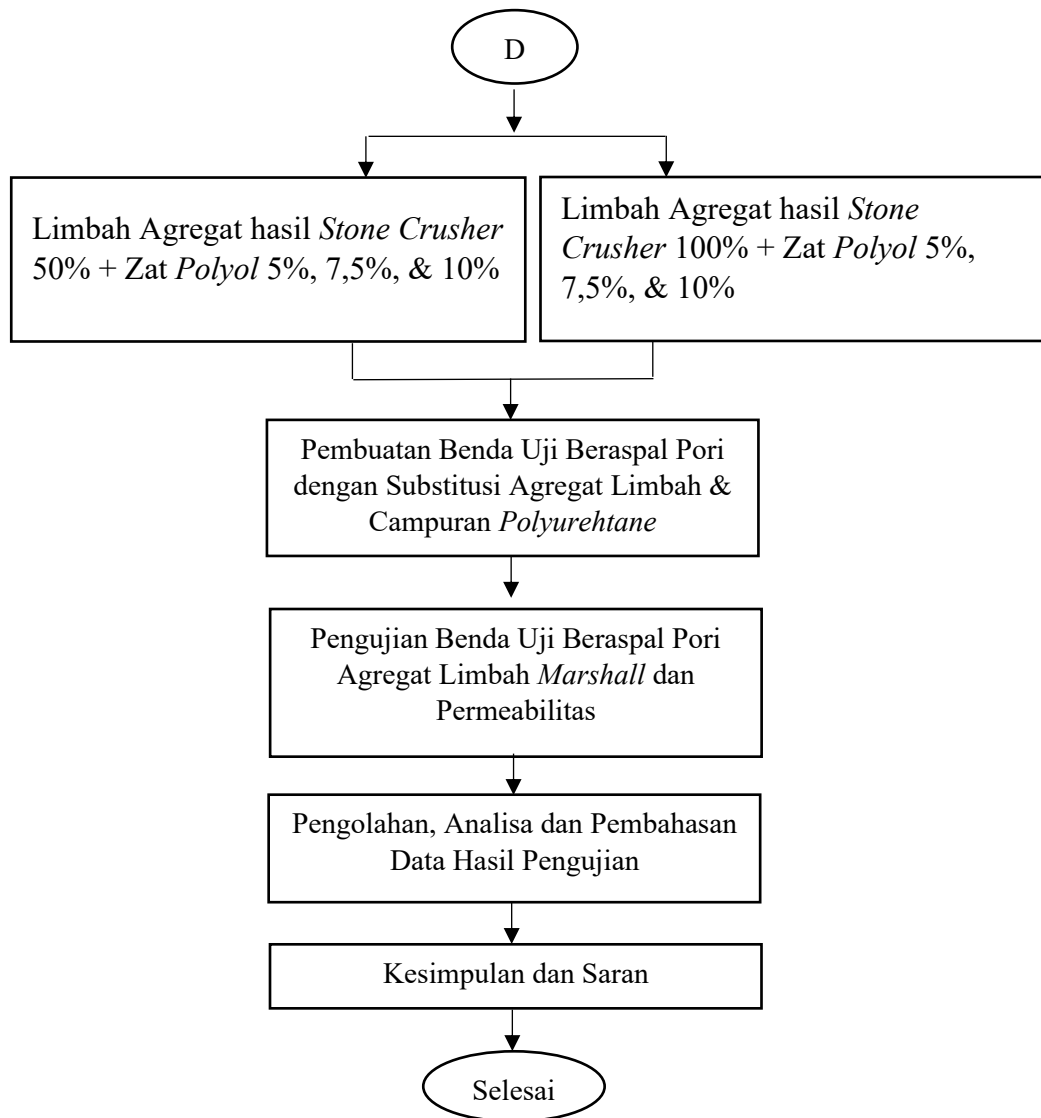
Kerangka penelitian adalah suatu metode yang digunakan untuk menggambarkan koneksi atau hubungan antara variabel yang akan diinvestigasi (Natoatmodjo, 2018). Berikut merupakan kerangka penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.3 Persiapan Bahan

Tahapan persiapan bahan merupakan tahapan yang krusial dalam proses penelitian untuk mengidentifikasi karakteristik dan sifat material serta mempersiapkan untuk pengujian lebih lanjut. Tahap ini melibatkan beberapa langkah penting yang mencakup persiapan material, penyesuaian komposisi campuran, dan pemilihan metode pengujian yang sesuai. Persiapan bahan bertujuan untuk memastikan bahwa bahan yang digunakan dalam penelitian memiliki kualitas. Dalam melakukan penelitian ini selain mempersiapkan peralatan dilakukan persiapan bahan yang akan

digunakan untuk pembuatan benda uji. Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah agregat alami, aspal, *crusher dust*. Bahan-bahan ini merupakan bahan yang bersumber dari alam. Selain itu terdapat penambahan zat kimia yang akan digunakan yaitu *polyurethane* tipe *polyol* dengan jumlah benda uji yang telah direncanakan.

3.4 Pengujian Bahan

Proses pengujian bahan dalam penelitian ini melibatkan serangkaian langkah penting untuk menganalisis dan mengevaluasi sifat-sifat material agregat dan aspal yang akan digunakan dalam campuran. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan-bahan yang akan digunakan memiliki kualitas yang memadai dan sesuai dengan persyaratan penelitian. Pengujian agregat meliputi beberapa tahap, dimulai dengan analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam agregat kasar dan halus. Selain itu, berat jenis agregat juga diukur, untuk mengetahui mengenai densitas relatif agregat tersebut. Penyerapan air juga dievaluasi untuk mengukur sejauh mana agregat mampu menyerap air, yang dapat mempengaruhi karakteristik campuran. Uji abrasi menggunakan alat *Los Angeles* juga dilakukan untuk menguji ketahanan agregat terhadap tekanan dan gesekan, memberikan gambaran tentang daya tahan agregat terhadap deformasi mekanis.

Selain pengujian agregat, Pengujian untuk aspal mencakup sejumlah parameter penting. Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengukur kemampuan aspal untuk meregang sebelum pecah, mengetahui tentang elastisitasnya pada berbagai suhu. Pengujian titik lembek, titik nyala, dan titik bakar membantu dalam menilai keamanan penggunaan aspal dalam aplikasi tertentu. Pengujian

penyelimutan aspal pada campuran menguji kemampuan aspal untuk menyelimuti permukaan agregat dan memberikan ikatan yang kuat. Berat jenis aspal adalah parameter lain yang penting, karena dapat mempengaruhi densitas campuran aspal. uji penetrasi dilakukan untuk mengukur kekerasan aspal dan konsistensinya pada suhu tertentu.

Setelah pengujian selesai, hasil pengujian dianalisis dan dibandingkan dengan persyaratan yang ditentukan. Hasil pengujian yang sesuai dengan persyaratan akan membantu memastikan bahwa material yang akan digunakan memiliki kualitas dan karakteristik yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.

3.5 Perancangan Campuran

Perancangan campuran beraspal merupakan proses perencanaan yang dilakukan untuk menghitung proporsi campuran beraspal yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Perhitungan ini didasarkan pada persentase lolos analisis saringan dan kadar aspal yang berbeda-beda. Data tersebut digunakan untuk menentukan koreksi kadar aspal berdasarkan campuran total, berat agregat, dan berat aspal sebanyak 1200 gram pada seluruh benda uji. Perancangan campuran beraspal bertujuan untuk menemukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan mengacu pada standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 terkait gradasi campuran agregat. Untuk mendapatkan KAO pada campuran beraspal berpori, dilakukan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% tanpa tambahan limbah.

Setelah Kadar Aspal Optimum didapatkan maka dilakukan Perancangan campuran beraspal berpori dengan menggunakan spesifikasi dari NAPA dan AAPA.

Menurut penelitian terdahulu dengan judul Analisis Kuat Tekan Beton HVFA (High Volume Fly Ash) Dengan Variasi Campuran Limbah Abu Batu *Stone*

Crusher oleh Amalia Wildayati. Didapatkan hasil bahwa kuat tekan tertinggi pada umur 56 hari dihasilkan oleh variasi persentase 20% dibandingkan dengan persentase 0%, 10%, 15%. Selain itu pada penelitian dengan judul Manfaat Limbah Abu Batu Sebagai Tambahan Material Bahan Bangunan Oleh Fitri Handayani. Didapatkan hasil bahwa penggunaan abu batu sebagai *filler* dalam produksi *Self Compacting Concrete* (SCC) dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 3,5% pada penambahan abu batu dengan takaran 25% berat semen. Oleh karena itu dapat disimpulkan penggunaan *crusher dust* diatas 20% berpotensi dapat meningkatkan nilai stabilitas. Maka dalam penelitian ini digunakan kombinasi *crusher dust* dengan persentase 0%, 50%, dan 100%. Selain itu untuk meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran diberikan tambahan penggunaan zat *polyurethane* tipe polyol dengan 5%, 7,5%, dan 10%. Berikut merupakan komposisi material yang digunakan dalam penelitian;

- a. 0% Limbah Agregat + 5% *Polyol*
- b. 0% Limbah Agregat + 7,5% *Polyol*
- c. 0% Limbah Agregat + 10% *Polyol*
- d. 50% Limbah Agregat + 5% *Polyol*
- e. 50% Limbah Agregat + 7,5% *Polyol*
- f. 50% Limbah Agregat + 10% *Polyol*
- g. 100% Limbah Agregat + 5% *Polyol*
- h. 100% Limbah Agregat + 7,5% *Polyol*
- i. 100% Limbah Agregat + 10% *Polyol*

3.6 Benda Uji

Proses pembuatan benda uji dalam rangka penelitian ini melibatkan dua tahapan penting, yang pertama adalah pembuatan benda uji murni tanpa adanya tambahan limbah dan zat *polyurethane*. Langkah ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik murni dari campuran aspal yang digunakan, yang menjadi landasan untuk penelitian lebih lanjut. Pembuatan benda uji murni ini dijalankan dengan tujuan untuk menghitung dan menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), yang mana sejumlah kadar telah ditetapkan untuk di eksplorasi, yaitu mulai dari 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari serangkaian kadar yang telah ditentukan menjadi landasan penting dalam menentukan campuran beraspal berpori. Kadar aspal ini akan menjadi faktor penentu dalam memenuhi persyaratan dan kriteria yang telah ditetapkan. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang telah dihitung dari data percobaan akan dijadikan acuan untuk Langkah selanjutnya, yaitu pembuatan benda uji dengan variasi substitusi *crusher dust* dan penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol*.

Pada tahap ini, benda uji akan dibuat dengan memvariasikan persentase substitusi menggunakan *crusher dust* serta penambahan zat *polyurethane* tipe *polyol* dalam variasi 5%, 7,5%, dan 10%. Hal ini bertujuan untuk memahami bagaimana campuran beraspal berpori akan berperilaku dengan adanya perubahan bahan tambahan. Kadar Aspal Optimum yang telah dihitung sebelumnya akan menjadi parameter kunci dalam menentukan komposisi yang sesuai dan membantu dalam menghasilkan campuran beraspal berpori dengan kualitas dan karakteristik yang ditentukan.

Secara keseluruhan, Langkah-langkah tersebut menggambarkan pendekatan sistematis dalam mengembangkan campuran beraspal berpori dengan menggunakan *crusher dust* dan zat *polyurethane* tipe *polyol* sebagai bahan tambahan.

3.7 Pengujian

Pengujian terhadap benda uji merupakan tahap penting yang berlangsung setelah tahapan pembuatan benda uji telah dilakukan. Proses pengujian ini menggunakan sejumlah parameter penting yang meliputi pengujian Marshall, pengujian permeabilitas, pengukuran berat jenis maksimum campuran beraspal berpori. Pengujian Marshall merupakan salah satu uji yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian ini memberikan gambaran mengenai stabilitas campuran beraspal dan kemampuan untuk menahan beban serta mengevaluasi sejauh mana campuran beraspal mampu menahan beban serta deformasi.

Selain itu, pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana campuran beraspal mampu mengalirkan air, yang dapat berdampak pada drainase permukaan jalan. Pengukuran berat jenis campuran maksimum penting untuk diujikan hasil dari pengujian ini yaitu memahami densitas campuran beraspal, yang dapat mempengaruhi performa campuran beraspal dalam kondisi lalu lintas.

Tahap pengujian benda uji dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama. Pertama pengujian benda uji dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang menjadi dasar dalam merancang campuran beraspal berpori. Tahap kedua yaitu benda uji akan diujikan dalam berbagai kombinasi yang telah ditentukan

dengan mensubstitusikan agregat alami dengan *crusher dust* dan penambahan *polyol*.

3.8 Pengujian Hasil Analisis

Dalam mendapatkan hasil pengujian dilakukan pengolahan data, analisis, dan pembahasan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian material agregat dan aspal untuk mengetahui nilai material terhadap spesifikasi yang digunakan. Dalam membuat benda uji perlu dilakukan penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan kadar rencana yang telah ditentukan, yang akan digunakan pada benda uji dengan kombinasi *crusher dust* dan *polyol*.

Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang sudah didapatkan maka dapat digunakan sebagai campuran beraspal berpori dengan kombinasi *crusher dust* dan *polyol*. Hasil pengujian dapat diperoleh dengan melakukan pengujian Marshall yang akan diperoleh nilai stabilitas, *flow*, permeabilitas, VIM, VFA, dan VMA yang diolah dan dibuat dalam bentuk grafik dan tabel untuk menarik kesimpulan dan jawaban dari penelitian ini.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Pada proses pengujian material dilakukan di *Research and Innovation Center* Universitas Pradita dan Laboratorium PT. Subur Brothers. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian agregat dan pengujian aspal untuk mengetahui kualitas dari material yang akan menjadi bahan penyusunan campuran beraspal berpori. Pengujian agregat merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas dari agregat yang akan digunakan, pengujian tersebut terdiri dari pengujian berat jenis agregat, penyerapan, keausan, dan analisis saringan agregat. Sedangkan pengujian aspal dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal dari daktilitas, titik nyala titik bakar, titik lembek, berat jenis, dan penetrasi.

4.1.1 Hasil Pengujian Agregat

Dalam pengujian agregat, agregat yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi Divisi Bina Marga 6 Tahun 2018 yang menjadi dasar penilaian kualitas dan kelayakan material agregat. Hasil pengujian material agregat kasar dan halus dirujuk pada Tabel 4.1 mengenai pengujian agregat halus dan 4.2 mengenai pengujian agregat kasar.

Tabel 4.1 Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian Agregat	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis	Minimal 2,5 gr/cm ³	2,55 gr/cm ³	Memenuhi
2	Penyerapan	Maks 3%	2,30%	Memenuhi

Tabel 4.1 menunjukkan nilai hasil pengujian material agregat halus yang akan digunakan pada campuran beraspal berpori. Pengujian berat jenis agregat halus memiliki spesifikasi nilai minimal 2,5 gr/cm³, hasil pengujian didapatkan bahwa nilai berat jenis agregat halus telah memenuhi kualifikasi yang ditentukan yaitu sebesar 2,55 gr/cm³. Dalam pengujian material agregat halus, selain pengujian berat jenis terdapat juga pengujian mengenai penyerapan agregat, dengan spesifikasi yang ditentukan yaitu minimal 3%. Hasil yang didapatkan pada pengujian penyerapan agregat yaitu sebesar 2,30%. Pada pengujian agregat halus seluruh hasil pengujian telah memenuhi spesifikasi Bina Marga Divisi 6 Tahun 2018. Selain pengujian untuk agregat halus, pengujian untuk agregat kasar juga perlu dilakukan. Hasil pengujian agregat kasar dirujuk pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian Agregat	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis	Minimal 2,5 gr/cm ³	2,62 gr/cm ³	Memenuhi
2	Penyerapan	Minimal 3%	2,16%	Memenuhi
3	Keausan	Maksimal 40%	16,67%	Memenuhi

Tabel 4.2 mengenai hasil pengujian agregat kasar menunjukkan hasil dari keseluruhan pengujian material agregat kasar. pengujian sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga Divisi 6 tahun 2018. Pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar sama-sama memiliki nilai spesifikasi yaitu minimal 2,5 gr/cm³. Hasil pengujian agregat kasar mendapatkan nilai 2,62 gr/cm³, nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Pengujian selanjutnya merupakan pengujian penyerapan agregat kasar dengan hasil yang didapatkan telah memenuhi kualifikasi yang ditentukan yaitu sebesar 2,16%. Agregat kasar harus melewati pengujian keausan. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat untuk bertahan terhadap abrasi atau pengikisan yang terjadi akibat tekanan dan

gesekan. Spesifikasi yang ditentukan dalam pengujian keausan agregat yaitu maksimal 40%. Hasil yang didapatkan pada pengujian keausan yaitu sebesar 16,67%. Sehingga agregat dapat digunakan sebagai bahan pembuatan campuran beraspal berpori.

4.1.2 Hasil Analisis Agregat

Pengujian analisis saringan agregat ini dilakukan dengan mengaplikasikan pendekatan yang melibatkan empat jenis bin agregat yang terdiri dari split, *screening*, dan abu batu. Metode pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi ukuran partikel dalam agregat yang menjadi bahan utama dalam konstruksi perkerasan beraspal. Dalam hal ini, pengujian agregat ini dijalankan dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dan *National Asphalt Pavement Association* (NAPA). Ketentuan-ketentuan dijabarkan secara rinci dirujuk pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Analisis Saringan Agregat

No. Saringan	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Spesifikasi AAPA	Memenuhi AAPA	Spesifikasi NAPA	Memenuhi NAPA
3/4"	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	48,74	100	100	100	-	70,27	85-100	70,27
3/8"	23,40	100	100	100	45-70	55,57	55-75	55,57
4	3,13	25,04	100	100	10-25	23,58	10-25	23,58
8	0,13	0,40	7,90	100	7-15	13,34	5-10	13,34
16	0,07	0,06	0,30	67,60	6-12	8,85	-	8,85
30	0,05	0,05	0,21	52,59	5-10	6,88	-	6,88
50	0,04	0,04	0,15	40,41	4-8	5,29	-	5,29
100	0,02	0,01	0,08	27,59	3-7	3,60	-	3,60
200	0,00	0,01	0,02	15,50	2-5	2,02	2-4	2,02
Persentase Tiap Fraksi	58%	27%	2%	13%				

Tabel 4.3 menunjukkan agregat ukuran 1/2" dan 8 tidak memenuhi syarat spesifikasi yang mengacu pada *National Asphalt Pavement Association* (NAPA)

namun keseluruhan ukuran agregat terpilih memenuhi persyaratan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Hal tersebut dikarenakan jumlah agregat ukuran ½” dan 8 pada agregat *screening* sedikit jumlahnya. Namun gradasi agregat masih dapat digunakan untuk pembuatan campuran beraspal berpori karena memenuhi persyaratan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Dalam mencari nilai gradasi yang memenuhi spesifikasi, digunakan cara *trial and error*, hasil yang telah didapatkan dapat digunakan pada pembuatan benda uji campuran beraspal berpori. Didapatkan persentase pada setiap bin 1, bin 2, bin 3, dan bin 4 secara berturut-turut yaitu 58%, 27%, 2%, dan 13%. Persentase berikut akan digunakan untuk pembuatan campuran beraspal berpori.

4.1.3 Hasil Pengujian Aspal

Pengujian aspal harus dilakukan dengan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Kepatuhan terhadap spesifikasi yang ada menjadi landasan utama dalam menilai kondisi dan potensi kelayakan material aspal yang akan digunakan. Oleh karena itu, spesifikasi ini menempatkan peran yang penting dalam memberikan wawasan mendalam mengenai karakteristik aspal yang. Pada Tabel 4.4 merangkum data-data yang dihasilkan dari serangkaian pengujian aspal.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Aspal

Pengujian Aspal	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
Daktilitas	Minimal 100 cm	150	Memenuhi
Titik Nyala, Titik Bakar	Minimal 200 °C	364	Memenuhi
Titik Lembek	48-58 °C	48,8	Memenuhi
Berat Jenis	Minimal 1 gr/cc	1,03	Memenuhi
Penetrasi	60-70	66,00	Memenuhi

Tabel 4.4 menunjukkan hasil dari keseluruhan pengujian aspal bahwa material aspal yang akan digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI). Pada pengujian daktilitas hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan dengan nilai yang didapatkan 10 cm. Titik nyala, titik bakar dengan spesifikasi minimal 200 °C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai yang didapatkan 364 °C, nilai tersebut sudah memenuhi dari spesifikasi yang ditentukan. Pada pengujian titik lembek mendapatkan hasil sebesar 48,8 °C, hasil tersebut telah memenuhi dari spesifikasi yang ditentukan. Pada pengujian penetrasi menunjukkan nilai spesifikasi yang ditentukan direntang 60-70, hasil yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 66,00. Keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh pengujian aspal telah memenuhi kualifikasi yang ditentukan. Maka material aspal tersebut bisa digunakan sebagai bahan campuran beraspal berpori.

4.2 Perancangan Campuran Kadar Aspal Optimum

Dalam memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yang paling optimum, perlu dilakukan suatu penelitian yang terstruktur dengan mencakup lima variasi kadar aspal yang berbeda, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Melalui pengujian dan analisis, setiap kadar aspal dihitung dengan tepat untuk mengidentifikasi berat dari setiap material yang nantinya akan terlibat dalam komposisi campuran beraspal berpori.

Tujuan dari perancangan ini untuk menemukan kadar aspal yang mengoptimalkan kinerja campuran beraspal berpori. Hasil perhitungan kadar aspal pada masing-masing variasi dijadikan sebagai landasan dalam melanjutkan

penelitian ini ke tahap modifikasi. Modifikasi yang digunakan yaitu *crusher dust* sebagai substitusi untuk agregat murni, serta penambahan *polyol* untuk memperbaiki sifat campuran beraspal berpori. Modifikasi ini bertujuan untuk menghasilkan campuran dengan karakteristik yang lebih baik dalam hal daya dukung, ketahanan terhadap deformasi, dan faktor-faktor lain yang penting dalam pembuatan jalan yang berkualitas. Perancangan campuran dalam menentukan Kadar Aspal Optimum dirujuk pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perancangan Campuran Kadar Aspal Optimum(KAO)

Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Kadar Aspal Terhadap Batuan (%)	Kadar Agregat (%)	Total (%)
4,5	4,31	95,69	
5,0	4,76	95,24	
5,5	5,21	94,79	100
6,0	6,66	94,34	
6,5	6,10	93,90	

Tabel 4.5 menunjukkan campuran kadar komposisi untuk setiap kadar aspal terhadap campuran. Contoh perhitungan persentase campuran kadar komposisi agregat yang akan digunakan untuk kadar aspal rencana 5%.

$$\text{Kadar Aspal Terhadap Batuan} \equiv \frac{\text{Kadar Aspal Terhadap Campuran}}{\text{Kadar Aspal Terhadap Campuran}+100} \times 100 \quad (4-1)$$

$$\text{Kadar Aspal Terhadap Batuan} \equiv \frac{5}{5 + 100} \times 100$$

$$\equiv 4,76 \%$$

$$\text{Kadar Agregat} \equiv \frac{\text{Total Campuran} \times 100}{\text{Total Campuran} + \text{Kadar Aspal}} \quad (4-2)$$

$$\text{Kadar Agregat} \equiv \frac{100 \times 100}{100 + 5}$$

$$\equiv 95,24 \%$$

Setelah diperoleh persentase aspal yang digunakan maka dapat diperhitungkan kebutuhan berat agregat dan aspal dalam gram dengan berat total campuran untuk 1 benda uji sebesar 1200 gram. Komposisi berat material campuran beraspal berpori dirujuk pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Komposisi Berat Material

Variasi Kadar Aspal (%)	Berat Material (Gram)				
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Aspal
4,5	341,37	536,22	117,53	153,20	51,67
5	339,74	533,66	116,97	152,47	57,14
5,5	338,13	531,13	116,41	151,74	62,55
6	336,54	528,63	115,03	151,03	67,92
6,5	334,96	526,15	115,32	150,32	73,23

Tabel 4.6 yang telah disusun memberikan gambaran yang rinci mengenai komposisi berat dari material-material yang menjadi bagian dalam pencapaian nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), yang diamati pada lima variasi kadar aspal yang berbeda. Pada setiap variasi kadar aspal, komposisi berat dari masing-masing material ini diteliti secara cermat untuk menghasilkan gambaran yang holistik mengenai perbandingan serta pengaruh setiap komponen dalam komposisi campuran beraspal berpori.

Pada kadar aspal sebesar 4,5%, data yang menunjukkan bahwa total berat agregat yang diperlukan mencapai 1148,32 gram, dengan berat aspal sebesar 51,67 gram. Begitu juga, pada variasi kadar aspal sebesar 5%, total berat agregat yang dibutuhkan adalah 1142,84 gram, dengan berat aspal yang diperlukan adalah 57,14 gram. Selanjutnya, dalam kadar aspal mencapai 6%, penggunaan total berat agregat sebesar 1132,07 gram dikombinasikan dengan kebutuhan berat aspal sebesar 67,92 gram. Pada variasi kadar aspal tertinggi yaitu sebesar 6,5%, menunjukkan

penggunaan total berat agregat sebesar 1126,76 gram, dengan kebutuhan berat aspal yang lebih tinggi, mencapai 73,23 gram.

4.3 Pengujian Permeabilitas

Dalam menjalankan proses pengujian permeabilitas, digunakan suatu metode yang melibatkan penggunaan alat uji permeabilitas yang sesuai dengan standar dan pedoman yang berlaku. Pada tahap ini, telah dilakukan perancangan khusus terhadap suatu alat yang memiliki kemampuan untuk menguji permeabilitas secara tepat dan akurat. Dalam pengujian ini benda uji yang diujikan sebanyak 25 benda uji. Untuk setiap variasi kadar yang diuji, yakni 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%, langkah yang diambil mencakup pembuatan sebanyak lima benda uji yang akan digunakan dalam setiap sesi pengujian. Hasil pengujian dirujuk pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar Aspal	Nomor Benda Uji	Waktu (detik)	Tinggi (cm)	Permeabilitas (cm/detik)	Rata-rata
4,50%	1	117,00	7,85	0,041	0,051
	2	85,00	7,90	0,058	
	3	104,00	7,98	0,046	
	4	89,00	7,78	0,054	
	5	92,00	7,69	0,055	
5%	1	173,00	7,90	0,030	0,040
	2	120,00	7,69	0,043	
	3	111,00	8,02	0,050	
	4	122,00	7,95	0,043	
	5	167,00	7,73	0,032	
5,50%	1	253,00	7,76	0,021	0,023
	2	406,00	7,51	0,011	
	3	213,00	7,57	0,024	
	4	144,00	7,96	0,037	
	5	245,00	7,65	0,021	

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Permeabilitas (lanjutan)

Kadar Aspal	Nomor Benda Uji	Waktu (detik)	Tinggi (cm)	Permeabilitas (cm/detik)	Rata-rata
6%	1	262,00	7,67	0,019	0,021
	2	155,00	7,98	0,036	
	3	320,00	7,75	0,016	
	4	270,00	7,80	0,019	
	5	304,00	7,40	0,015	
6,50%	1	280,00	7,72	0,019	0,025
	2	260,00	7,87	0,020	
	3	253,00	7,64	0,020	
	4	151,00	7,63	0,034	
	5	173,00	7,74	0,030	

Tabel 4.7 menunjukkan hasil permeabilitas yang diperoleh dari masing-masing kadar aspal rencana. Dalam melakukan proses pengujian, kadar aspal dalam komposisi campuran beraspal berpori diamati dengan cermat untuk mengevaluasi sejauh mana dampak terhadap karakteristik permeabilitas. Dalam proses pengujian, ditemukan bahwa pada kadar aspal 4,5%, dampaknya terhadap permeabilitas menghasilkan nilai sebesar 0,051 cm/detik. Pada kadar aspal 5%, hasil pengujian menunjukkan nilai permeabilitas sebesar 0,040 cm/detik. Kemudian, ketika kadar aspal dinaikan menjadi 5,5%, diperoleh nilai permeabilitas sebesar 0,023 cm/detik. Sementara itu, pada kadar aspal 6%, dampaknya menghasilkan nilai permeabilitas sebesar 0,021 cm/detik. Pada kadar aspal 6,5%, nilai permeabilitas yang diukur sebesar 0,025 cm/detik.

Mengamati hasil pengujian pada seluruh variasi kadar aspal rencana ini, dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan hasilnya memenuhi atau bahkan melampaui kualifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Nilai permeabilitas yang diperoleh dari setiap kadar aspal ditentukan, yaitu $>0,01$ cm/detik. Hal ini memberikan keyakinan bahwa komposisi campuran beraspal berpori yang diuji

sesuai dengan standar yang ditetapkan. Proses pengujian campuran beraspal berpori dirujuk pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengujian Permeabilitas Campuran beraspal berpori

Pengujian permeabilitas, dilakukan dengan lima variasi kadar berbeda yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Setelah pengujian selesai, diperoleh hasil yang memberikan gambaran mengenai nilai permeabilitas dari setiap variasi kadar yang diujikan. Hasil yang ditemukan menunjukkan bahwa nilai permeabilitas dari seluruh variasi kadar tersebut sudah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Nilai permeabilitas yang diukur pada seluruh variasi kadar tersebut adalah lebih besar dari ambang batas minimal yang ditetapkan, yakni lebih dari 0,01 cm/detik. Hal ini menandakan bahwa campuran beraspal berpori yang dihasilkan dari setiap kadar mampu mengalirkan air dengan tingkat kelancaran yang sesuai dengan kriteria yang ditetapkan.

4.4 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Berpori

Pengujian berat jenis maksimum pada campuran beraspal berpori merupakan suatu metode penelitian yang dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan campuran beraspal berpori dalam mencapai berat jenis paling tinggi yang dapat diperoleh melalui variasi komponen tambahan tertentu. Tujuan utama dari pengujian ini

adalah untuk mengidentifikasi sejauh mana modifikasi campuran beraspal berpori dapat mempengaruhi berat jenis campuran tersebut, terutama dengan menggunakan bahan-bahan seperti *crusher dust* dan penambahan zat *polyol*. Dalam pengujian berat jenis maksimum, berbagai variasi campuran beraspal berpori dihasilkan dengan mengubah proporsi komponen tambahan seperti *crusher dust* dan penambahan zat *polyol*. Setiap variasi tersebut kemudian diuji untuk mengukur berat jenisnya, yaitu massa dari campuran beraspal berpori persatuan volume tertentu. Hasil pengujian berat jenis maksimum ini memiliki nilai penting dalam memahami karakteristik fisik campuran beraspal berpori yang dimodifikasi. Semakin tinggi berat jenis, semakin padat campuran tersebut, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi sejumlah faktor seperti daya dukung, ketahanan terhadap beban, dan performa jalan pada umumnya. Dengan membandingkan hasil berat jenis maksimum dari berbagai variasi campuran.

Pengujian berat jenis maksimum campuran beraspal berpori merupakan bagian penting untuk mengembangkan campuran beraspal berpori yang lebih efisien dan berkualitas. Dengan memahami dampak dari modifikasi tertentu terhadap berat jenis campuran. Pengujian berat jenis campuran beraspal berpori dilakukan di Laboratorium PT. Subur Brothers. Pengujian dilakukan dengan 5 variasi kadar aspal dengan masing-masing jumlah sampel variasi sebanyak 2 sampel dan total sampel yang diuji adalah 10 sampel. Data pengujian dirujuk pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Pengujian Berat Jenis Campuran Beraspal Berpori

Variasi Kadar Aspal (%)	Benda Uji	A (Gram)	D (Gram)	E (Gram)	E Hisap (Gram)
4,5	1	500,5	2247,5	2529,6	2534,7
	2	500,6	2247	2528,6	2538,2
5	1	500,8	2247,2	2523,4	2537,1
	2	500,7	2246,3	2526,4	2536,4
5,5	1	500,8	2248	2526,8	2539,7
	2	500,8	2243,7	2525,2	2536,6
6	1	500,5	2243,3	2516,5	2532,4
	2	500,5	2248	2525,5	2537,9
6,5	1	500,7	2247,3	2520,2	2529,6
	2	500,7	2245	2522,9	2528,9

Tabel 4.8 merupakan data-data yang diperoleh dari pengujian berat jenis campuran beraspal berpori yang selanjutnya akan dihitung untuk mengetahui hasil dari pengujian tersebut. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan berat jenis campuran beraspal berpori dengan kadar aspal 5% sampel 1. Hasil pengujian dirujuk pada Tabel 4.9.

$$\text{Berat Jenis} \equiv \frac{A}{A + D - E} \quad (4-3)$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &\equiv \frac{500,8}{500,8 + 2247,2 - 2523,4} \\ &\equiv 2,23 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Gmm} \equiv \frac{A}{A + D - E \text{ hisap}} \quad (4-4)$$

$$\begin{aligned} \text{Gmm} &\equiv \frac{500,8}{500,8 + 2247,2 - 2537,1} \\ &\equiv 2,37 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Keterangan

A = Berat uji kering oven di udara (Gram)

D = Berat piknometer berisi air pada suhu 25°C (Gram)

E = Berat piknometer berisi air dan benda uji pada suhu 25°C (Gram)

E hisap = Berat piknometer berisi air dan beda uji pada suhu 25°C (Gram)

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat jenis Campuran Beraspal Berpori

Variasi Kadar Aspal (%)	Benda Uji (gram/cm ³)	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (gram/cm ³)	Rata-Rata Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (gram/cm ³)	Gmm (gram/cm ³)	Rata-Rata Gmm (gram/cm ³)
4,5	1	2,29	2,28	2,34	2,36
	2	2,28		2,39	
5	1	2,23	2,25	2,37	2,37
	2	2,27		2,37	
5,5	1	2,25	2,27	2,39	2,40
	2	2,28		2,40	
6	1	2,20	2,22	2,36	2,37
	2	2,24		2,37	
6,5	1	2,19	2,22	2,22	2,30
	2	2,24		2,30	



Gambar 4.2 Proses Pengujian Berat jenis Maksimum

Dalam mengetahui pengaruh dari lima variasi kadar aspal terhadap berat jenis campuran beraspal berpori, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui hal tersebut. Pada pengujian ini, data yang diperoleh memperlihatkan bagaimana setiap variasi kadar aspal berdampak pada karakteristik berat jenis campuran. Dalam hal ini, setiap variasi kadar yakni 4,5%, 5%, 5,5%, 5%, dan 6,5%.

Dalam kadar aspal sebesar 4,5%, hasil pengujian mengungkapkan bahwa berat jenis (*bulk*) campuran beraspal berpori adalah sekitar 2,28 gram/cm³ dan nilai G_{mm} (berat jenis maksimum campuran aspal sebesar 2,36 gram/cm³). Sementara pada kadar aspal 5%, berat jenis (*bulk*) mencapai 2,25 gram/cm³, sedangkan G_{mm} meningkat menjadi 2,37 gram/cm³. Kondisi serupa terlihat pada kadar 5,5%, dimana nilai berat jenis (*bulk*) mencapai rata-rata 2,27 gram/cm³ dan G_{mm} mencapai 2,40 gram/cm³.

Kemudian, pada kadar aspal 6%, ditemukan bahwa berat jenis (*bulk*) menurun menjadi 2,22 gram/cm³. Sedangkan pada variasi kadar aspal 6,5%, berat jenis (*bulk*) menghasilkan angka 2,22 gram/cm³ dan G_{mm} menunjukkan nilai 2,30 gram/cm³. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa variasi kadar aspal memiliki dampak nyata terhadap karakteristik berat jenis campuran beraspal berpori.

4.5 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall sebagai alat untuk menganalisis dan memahami nilai stabilitas dan *flow* dari benda uji yang menjadi objek pengujian. Teknik pengujian Marshall membentuk sebuah metode yang berfokus pada evaluasi karakteristik mekanik dan kestabilan campuran beraspal yang akan diaplikasikan. Dalam esensinya, pengujian Marshall memungkinkan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang sifat-sifat campuran beraspal.

Tahap pengujian Marshall melibatkan berbagai prosedur penting yang dimulai dengan persiapan bahan, pembuatan benda uji, kompaksi, perendaman, hingga pengujian Marshall. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian, dengan lima variasi kadar aspal yang berbeda, yakni 4,5%, 5%, 5,5%, 5,5%, dan 6,5%. Setiap variasi

kadar aspal terdiri dari 5 sampel pengujian , dengan total benda uji yang diuji sejumlah 15 benda uji. Pengujian Marshall menghasilkan data dan menunjukkan nilai stabilitas yang mencerminkan kekuatan perkerasan dalam menghadapi beban dan tekanan, sedangkan *flow* mengindikasikan fleksibilitasnya saat diberikan beban di atasnya. Hasil dari pengujian ini akan dibandingkan dengan pengujian lain untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang karakteristik campuran beraspal.

Hasil dari tahap pengujian Marshall ini menjadi landasan penting dalam mengidentifikasi kadar aspal optimum yang nantinya akan digunakan dalam modifikasi material, yaitu 0% untuk campuran beraspal tanpa *crusher dust*, 50%, dan 100%, dengan tambahan zat *polyol* yang digunakan meliputi 5%,u,5%,dan 10%. Proses pengujian dirujuk pada Gambar 4.3 dan Hasil data yang diperoleh dari pengujian Marshall dirujuk pada Tabel 4.10.



Gambar 4.3 Proses Pengujian Marshall

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Marshall

BU	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (mm)	G (mm ³)	H (gram/cm ³)	I (gram/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)	
1			1180	1232	638,9	7,85	593,1	1,99		16,02	28,56	43,91	17,00	216,11	5,00	43,22	
2			1202	1250	648	7,9	602,0	1,99		15,72	28,30	44,47	18,00	220,35	6,00	36,72	
3	4,50	4,31	1197	1244	650,5	7,98	593,5	2,01	2,36	14,86	27,58	46,10	25,00	317,81	5,00	63,56	
4			1180	1226	641,3	7,78	584,7	2,01		14,81	27,53	46,20	19,00	247,50	3,00	82,50	
5			1192	1241	651,9	7,79	589,1	2,02		14,59	27,34	46,65	20,00	254,25	4,00	63,56	
			Rata-rata					2,00			15,20	27,86	45,45	19,8	251,21	4,60	57,915
1			168	1212	638	7,9	574	2,03		14,36	27,28	47,36	32,00	416,85	5,00	83,37	
2			1158	1212	638	7,68	574	2,01		15,09	27,90	45,91	38,00	495,01	6,00	82,50	
3	5,00	4,76	1168	1215	646	8,02	569	2,05	2,37	13,61	26,64	48,93	25,00	337,43	4,00	84,35	
4			1125	1218	640	7,95	578	1,94		18,08	30,44	40,60	43,00	560,14	6,00	93,35	
5			1112	1217	639,9	7,73	577,1	1,92		18,90	31,14	39,29	60,00	781,59	5,00	156,31	
			Rata-rata					1,99			16,01	28,68	44,18	39,60	518,203	5,20	99,981
1			1201	1238	638,2	7,76	599,8	2,00		16,64	28,78	42,19	40,00	489,67	5,00	97,93	
2			1193	1226	636,5	7,51	589,5	2,02		15,75	28,02	43,80	57,00	724,62	7,00	103,51	
3	5,50	5,21	1185	1225	629,4	7,5	595,6	1,99	2,40	17,17	29,24	41,27	33,00	419,52	5,00	83,90	
4			1189	1231	627,1	7,96	603,9	1,96		18,03	29,97	39,83	25,00	306,04	5,00	61,20	
5			1191	1228	634,9	7,65	593,1	2,00		16,40	28,58	42,61	46,00	584,78	5,00	116,95	
			Rata-rata					1,99			16,80	28,92	41,91	40,2	504,92	5,40	92,70
1			1197	1231	647,1	7,67	583,9	2,05		13,57	27,43	50,51	19,00	247,50	6,00	41,25	
2			1194	1240	646	7,98	594	2,01		15,26	28,84	47,10	17,00	216,11	10,00	21,61	
3	6,00	5,66	1201	1236	653,3	7,75	582,7	2,06	2,37	13,11	27,04	51,52	30,50	397,31	6,00	66,21	
4			1196	1236	650	7,8	586	2,04		13,96	27,75	49,70	20,00	254,25	6,00	42,37	
5			1193	1222	652,4	7,4	569,6	2,09		11,70	25,86	54,74	49,50	668,12	2,00	334,05	
			Rata-rata					2,05			13,52	27,38	50,63	27,2	356,65	6,00	101,10

Tabel 4.10 Hasil pengujian Marshall (Lanjutan)

BU	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (mm)	G (mm ³)	H (gram/cm ³)	I (gram/cm ³)	L (%)	M (%)	N (%)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)	
1			1199	1227	632,2	7,72	594,8	2,01		12,39	28,98	57,22	26,00	330,53	4,00	82,63	
2			1197	1234	627,7	7,87	606,3	1,97		14,20	30,44	53,35	23,00	281,56	4,00	70,39	
3	6,50	6,10	1187	1218	627,3	7,64	590,7	2,00	2,30	12,67	29,20	56,61	34,00	432,23	6,00	72,03	
4			1184	1221	625,8	7,63	595,2	1,98		13,55	29,91	54,70	28,00	355,95	4,00	88,98	
5			1191	1227	622,2	7,74	604,8	1,96		14,42	30,62	52,90	17,00	208,11	7,00	29,73	
			Rata-rata						1,99		13,45	29,83	54,92	35,6	321,67	5,00	68,75

Keterangan :

A	= Aspal terhadap batuan (%)	H	= Berat isi benda uji (gram/mm ³)	R	= <i>Flow</i> (mm)
B	= Aspal terhadap campuran (%)	I	= Gmm teoritis (gram/cm ³)	S	= Marshall <i>Quotient</i> (kg/mm)
C	= Berat benda uji kering (gram)	L	= <i>Void In Mix</i> (%)		
D	= Berat benda uji keadaan jenuh (gram)	M	= <i>Void In Mineral Aggregate</i> (%)		
E	= Berat benda uji dalam air (gram)	N	= <i>Void Filled Asphalt</i> (%)		
F	= Tinggi benda uji (mm)	O	= Pembacaan <i>dial proving</i> (div)		
G	= Volume benda uji (mm ³)	Q	= Stabilitas (kg)		

Tabel 4.10 merupakan data-data yang diperoleh dari hasil pembuatan campuran beraspal berpori dengan 5 variasi kadar yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% yang masing-masing terdiri dari 5 sampel. Data yang didapatkan dihitung untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow* dari hasil pengujian Marshall. Rekapitulasi hasil pengujian Marshall beraspal berpori dirujuk pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Beraspal Berpori

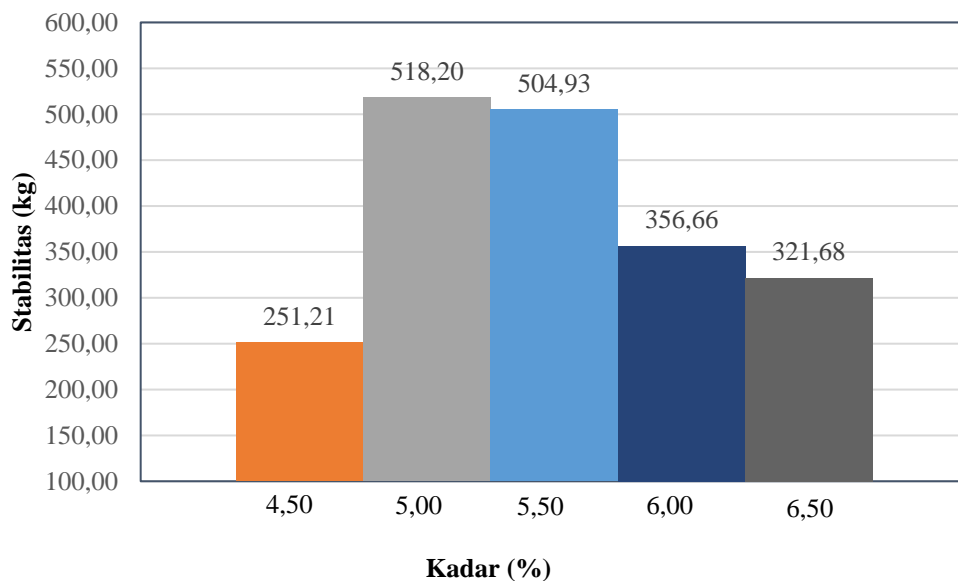
Kadar Aspal (%)	Density (gram/cm ³)	Stabilitas	Flow(mm)	VMA (%)	VIM (%)	MQ (kg/mm)
4,50	2,37	251,21	4,60	27,86	15,20	57,92
5,00	2,38	518,20	5,20	28,68	16,01	99,98
5,50	2,40	504,93	5,40	28,92	16,80	92,70
6,00	2,37	356,66	6,00	27,38	13,52	101,10
6,50	2,30	321,68	5,00	29,83	13,45	68,76
Spesifikasi	> 2	Min. 500	2 - 6	Min. 15	16-22	Maks. 400

Tabel 4.11, menunjukkan bahwa pada variasi kadar aspal 4,5% tidak memenuhi kriteria spesifikasi yang telah ditetapkan. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa persentase aspal yang digunakan dalam campuran tersebut cukup sedikit, yang mengakibatkan agregat-agregat tidak mampu mengikat secara optimal. Hasilnya, ikatan antara agregat dan aspal menjadi kurang efektif, menghasilkan performa campuran yang tidak sesuai dengan standar.

Terdapat variasi kadar aspal yang tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, yaitu pada kadar aspal sebesar 6% dan 6,5%. Pada kedua kadar tersebut, terjadi kelebihan penggunaan aspal yang berlebihan, sehingga nilai stabilitas campuran menunjukkan penurunan yang signifikan. Maka dapat disimpulkan bahwa kelebihan penggunaan aspal dapat berdampak negatif pada stabilitas campuran secara keseluruhan.

Namun, terdapat pula variasi kadar aspal yang mampu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, yaitu pada kadar aspal sebesar 5% dan 5,5%. Kedua kadar tersebut

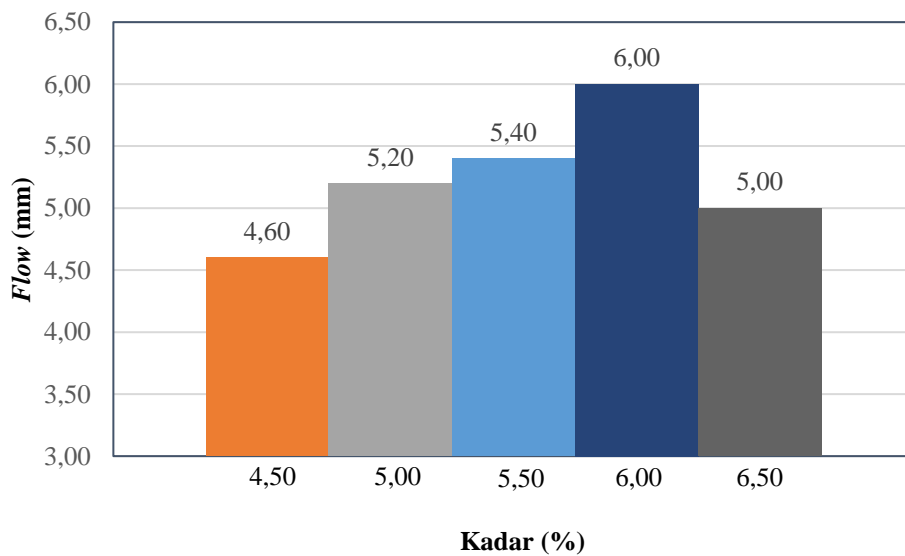
dapat dinyatakan bahwa kadar aspal optimum yang optimal untuk digunakan dalam campuran beraspal berpori dengan substitusi *crusher dust* dan penambahan *polyol* adalah 5%. Hasil stabilitas tertinggi terlihat pada Gambar 4.4, dan nilai *flow* yang lebih rendah daripada kadar 5,5%. Semua ini mengindikasikan bahwa kadar 5% memungkinkan pencapaian kinerja campuran beraspal berpori yang lebih baik secara keseluruhan.



Gambar 4.4 Nilai Stabilitas KAO

Dalam hasil analisis yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4, terlihat bahwa nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan kualifikasi terdapat pada dua kadar aspal, yaitu 5,00% dan 5,50%. Pada kadar aspal 5,00%, mendapatkan nilai tertinggi mencapai 518,20 kg. Sementara itu, kadar aspal 5,50% juga menghasilkan nilai yang signifikan, meskipun sedikit lebih rendah daripada sebelumnya, yakni mencapai 504,93 kg. Namun demikian, ketika melihat hasil analisis pada kadar

aspal 4,50%, 6,00%, dan 6,50%, terlihat bahwa nilai-nilai tersebut tidak memenuhi standar yang telah ditentukan, yang menetapkan nilai minimal stabilitas sebesar 500 kg. Oleh karena itu, kadar aspal tersebut dapat disimpulkan tidak memenuhi persyaratan kualitas yang telah ditetapkan dalam spesifikasi yang berlaku. Selain nilai stabilitas yang di analisis, terdapat nilai *flow* yang dianalisis untuk mempertimbangkan nilai KAO yang akan digunakan pada pembuatan beraspal berpori dengan bahan tambah *crusher dust* dan penambahan zat *polyol*. Nilai *flow* dirujuk pada Gambar 4.5.

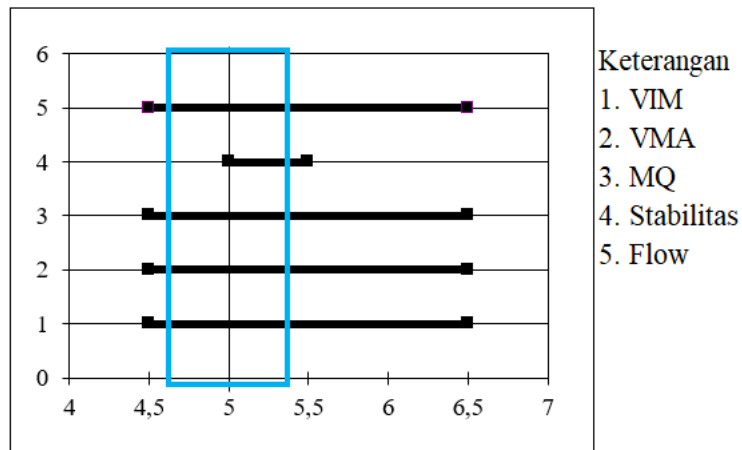


Gambar 4.5 Nilai *Flow* KAO

Gambar 4.5 menyajikan secara komprehensif dan terperinci tentang berbagai nilai *flow* yang dihasilkan dari seluruh variasi kadar yang telah diujikan. Hasil pengujian pada semua kadar aspal yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang memenuhi kriteria kualifikasi yang telah ditetapkan. Rentang nilai *flow* yang telah ditentukan yaitu antara 2 hingga 6 mm, berhasil terpenuhi oleh semua variasi kadar

aspal yang diuji. Pada kadar aspal sebesar 6,00%, didapatkan bahwa nilai *flow* ini mencapai angka 6,00 mm. pada titik ini, nilai *flow* tersebut menandai puncak dari karakteristik *flow* campuran beraspal berpori yang diuji. Meskipun demikian, kita tidak dapat mengabaikan fakta bahwa kadar aspal sebesar 5,50% memberikan dampak signifikan terhadap nilai *flow*. Nilai *flow* yang diperoleh pada kadar ini mencapai 5,40 mm, yang menempatkannya sebagai nilai *flow* tertinggi kedua diantara berbagai variasi kadar aspal yang lain. Selanjutnya, pada kadar aspal sebesar 5,00%, 6,50%, dan 4,50%, masing-masing menghasilkan nilai *flow* yang tercatat sebesar 5,20 mm, 5,00 mm, dan 4,50 mm. Sebagai pelengkap Gambar 4.6 berfungsi sebagai rekapitulasi yang menyajikan secara terperinci kadar aspal optimum yang telah ditetapkan melalui hasil pengujian.

Gambar 4.5 memberikan gambaran menyeluruh mengenai nilai *flow* yang dihasilkan pada seluruh variasi kadar yang telah diuji. Bahwa semua kadar aspal yang telah diujikan berhasil memenuhi kriteria kualifikasi yang telah ditetapkan, yakni dalam rentang 2 hingga 6 mm. Dalam kaitannya dengan kadar aspal sebesar 6,00%, tercatat bahwa nilai *flow* yang diperoleh mencapai 6,00 mm. Pada kadar aspal ini, tercatat sebagai titik puncak dari nilai *flow*. Meskipun demikian, tidak dapat diabaikan bahwa kadar aspal 5,50% juga menghasilkan nilai *flow* yang cukup signifikan, dengan angka mencapai 5,40 mm, yang menempatkan sebagai peraih nilai *flow* tertinggi kedua diantara variasi kadar lainnya. Sementara itu, pada kadar aspal 5,00%, 6,50%, dan 4,50% mendapatkan nilai *flow* yang masing-masing adalah 5,20 mm, 5,00 mm, dan 4,50 mm. pada Gambar 4.6 menunjukkan rekapitulasi kadar aspal optimum yang didapatkan.



Gambar 4.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Gambar 4.6 menunjukkan suatu rangkuman komprehensif mengenai hasil pengujian Marshall yang telah dilakukan pada berbagai kadar aspal rencana. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi nilai-nilai yang terkait dengan parameter-parameter yang menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Dari serangkaian pengujian yang dilakukan, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yang paling optimum sebesar 5%. Keputusan memilih kadar aspal 5% ini didasarkan pada analisis teliti terhadap sejumlah nilai yang dihasilkan dari pengujian. Terlihat bahwa nilai stabilitas pada kadar 5% melebihi nilai stabilitas pada kadar aspal 5,5%. Selain itu, data menunjukkan bahwa nilai *flow* pada kadar 5% lebih rendah dibanding dengan nilai *flow* pada kadar 5,5%, yakni sebesar 5,20 mm.

4.6 Perancangan Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan

Perancangan campuran beraspal berpori memiliki peran penting sebagai suatu pendekatan metodologis yang khusus diarahkan untuk menghasilkan campuran beraspal berpori. Perancangan ini melibatkan penggabungan antara campuran

beraspal dengan tambahan tertentu, dalam hal ini adalah *crusher dust* dan penambahan zat *polyol*. Variasi kadar limbah yang ada pada campuran beraspal berpori melibatkan tiga variasi *crusher dust* yang berbeda, yaitu 0%, 50%, 100%. Sedangkan untuk pengenalan variasi penambahan *polyol*, menggunakan tiga variasi berbeda yaitu 5%, 75%, dan 100%.

Tabel 4.12 Komposisi Material Campuran Beraspal Berpori

Variasi	Bin	Agregat Murni (gram)	Agregat Limbah (gram)	Aspal (gram)	<i>Polyol</i> (gram)
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 5%	1	339,75	0,00	54,29	2,86
	2	533,67	0,00		
	3	116,97	0,00		
	4	152,47	0,00		
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	339,75	0,00	52,86	4,29
	2	533,67	0,00		
	3	116,97	0,00		
	4	152,47	0,00		
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 10%	1	339,75	0,00	51,43	5,71
	2	533,67	0,00		
	3	116,97	0,00		
	4	152,47	0,00		
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 5%	1	169,87	169,87	54,29	2,86
	2	266,83	266,83		
	3	58,49	58,49		
	4	76,24	76,24		
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	169,87	169,87	52,86	4,29
	2	266,83	266,83		
	3	58,49	58,49		
	4	76,24	76,24		
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 10%	1	169,87	169,87	51,43	5,71
	2	266,83	266,83		
	3	58,49	58,49		
	4	76,24	76,24		
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 5%	1	0,00	339,75	54,29	2,86
	2	0,00	533,67		
	3	0,00	116,97		
	4	0,00	152,47		
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	0,00	339,75	52,86	4,29
	2	0,00	533,67		
	3	0,00	116,97		
	4	0,00	152,47		
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	0,00	339,75	51,43	5,71
	2	0,00	533,67		
	3	0,00	116,97		
	4	0,00	152,47		

Tabel 4.12 menunjukkan mengenai hasil analisis terhadap variasi komposisi yang terkait dengan penggunaan *crusher dust* dalam campuran beraspal berpori. Dalam hal ini, menggambarkan berbagai perubahan dalam campuran beraspal berpori yang berkaitan dengan penggunaan *crusher dust* dalam jumlah yang berbeda. Pada variasi dengan kadar *crusher dust* 0%, campuran agregat yang digunakan didasarkan pada agregat murni tanpa ada tambahan dari *crusher dust*. Berbeda dengan hal tersebut, dalam variasi kadar *crusher dust* sebesar 50%, kebutuhan total agregat dipecah menjadi dua, yakni 50% agregat murni dan sisanya berasal dari *crusher dust*. Sementara itu, pada variasi kadar *crusher dust* 100%, seluruh komponen agregat yang digunakan merupakan *crusher dust* tanpa ada penambahan dari agregat murni.

Dalam komposisi ini tidak hanya melibatkan penggunaan *crusher dust*, tetapi juga menggunakan penambahan zat *polyol*. Pada variasi *polyol* dengan kadar 5%, 7,5%, dan 10%, total kebutuhan aspal dalam satu benda uji mengalami pengurangan sebagai dampak dari penambahan *polyol* pada campuran. Dalam tiga variasi tersebut, penambahan *polyol* memiliki peran dalam mengatur proporsi dalam campuran beraspal berpori. Oleh karena itu, Tabel 4.12 memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang bagaimana penggunaan *crusher dust* dan penambahan *polyol* berdampak pada komposisi campuran beraspal berpori.

4.7 Hasil Pengujian Permeabilitas Campuran Beraspal Berpori dengan

Bahan Tambahan

Pengujian permeabilitas pada campuran beraspal berpori yang melibatkan penambahan *crusher dust* serta *polyol*, adalah suatu upaya sistematis untuk menilai

kemampuan campuran tersebut dalam mengalirkan air. Kemampuan ini menjadi kriteria penting dalam mengevaluasi performa campuran beraspal berpori dalam mengatasi genangan air yang mungkin terbentuk di permukaan jalan. Sebagai salah satu parameter yang signifikan, semakin tinggi nilai permeabilitas pada campuran beraspal berpori menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam menghadapi situasi genangan air pada lingkungan jalan.

Hasil dari serangkaian pengujian permeabilitas yang telah dilakukan mencerminkan representasi mengenai campuran beraspal berpori ini mengalirkan air. Hasil pengujian ini menginterpretasi dan memahami dampak dan penambahan *crusher dust* serta penambahan zat *polyol*. Data-data hasil pengujian ini dirujuk pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Permeabilitas Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah

Variasi Kadar	Benda Uji	Waktu (Detik)	Tinggi (cm)	Permeabilitas (cm/detik)	Rata-rata
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 5%	1	174,00	7,95	0,028	0,035
	2	160,00	8,11	0,031	
	3	175,00	8,07	0,027	
	4	122,00	8,11	0,041	
	5	107,00	8,14	0,48	
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	181,00	8,00	0,026	0,018
	2	178,00	8,08	0,026	
	3	270,00	7,91	0,017	
	4	340,00	7,26	0,012	
	5	395,00	7,37	0,010	
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 10%	1	306,00	8,08	0,016	0,026
	2	206,00	8,05	0,023	
	3	181,00	8,01	0,026	
	4	138,00	8,08	0,036	
	5	169,00	8,00	0,029	

Tabel 4.13 Hasil Permeabilitas Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah (lanjutan)

Variasi Kadar	Benda Uji	Waktu (Detik)	Tinggi (cm)	Permeabilitas (cm/detik)	Rata-rata
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 5%	1	213,00	7,84	0,023	0,015
	2	343,00	7,74	0,014	
	3	274,00	7,60	0,017	
	4	383,00	7,96	0,013	
	5	477,00	7,40	0,009	
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	173,00	7,74	0,027	0,0206
	2	355,00	7,39	0,013	
	3	216,00	8,15	0,022	
	4	267,00	7,84	0,018	
	5	235,00	7,97	0,022	
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 10%	1	182,00	7,67	0,024	0,023
	2	218,00	7,78	0,021	
	3	251,00	7,75	0,019	
	4	180,00	7,77	0,026	
	5	175,00	7,78	0,027	
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 5%	1	161,00	7,69	0,027	0,0213
	2	289,00	7,57	0,015	
	3	143,00	7,88	0,033	
	4	242,00	7,67	0,018	
	5	324,00	7,54	0,013	
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	250,00	7,62	0,019	0,014
	2	365,00	7,61	0,013	
	3	229,00	7,67	0,020	
	4	500,00	7,54	0,009	
	5	467,00	7,50	0,019	
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 10%	1	196,00	7,67	0,023	0,0203
	2	170,00	7,80	0,027	
	3	345,00	7,49	0,013	
	4	188,00	7,85	0,025	
	5	305,00	7,64	0,015	

Tabel 4.13 menunjukkan hasil-hasil yang berkaitan dengan pengujian permeabilitas pada campuran beraspal berpori yang melibatkan berbagai kadar dan variasi komposisi. Hasil-hasil ini menggambarkan dampak dari seluruh variasi kadar terhadap nilai permeabilitas yang dihasilkan, dengan batas minimum yang

ditetapkan sebesar 0,01 cm/detik. Dari interpretasi ini, diperoleh suatu pemahaman bahwa campuran beraspal berpori dari semua variasi kadar aspal yang diuji berhasil memenuhi standar yang telah ditetapkan dalam spesifikasi.

Pada kadar *crusher dust* 0% dengan penambahan *polyol* sebesar 5%, diperoleh nilai permeabilitas terbesar. Dalam hal ini, nilai permeabilitas ini menunjukkan kemampuan campuran beraspal berpori dalam mengalirkan air sangat optimum. Sebaliknya, tercatat bahwa pada kondisi kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* sebesar 7,5%, nilai permeabilitas yang paling rendah ditentukan. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran beraspal berpori pada kondisi tersebut memiliki kemampuan yang lebih terbatas dalam mengalirkan air.

Pada kadar *crusher dust* 0% dan 100% pada setiap variasi penambahan *polyol* sebesar 7,5% menunjukkan bahwa nilai permeabilitas cenderung menjadi lebih kecil dan hampir mendekati nilai batas minimum yang ditetapkan yaitu, 0,01 cm/detik. Disisi lain, pada variasi kadar *crusher dust* sebesar 50% dengan penambahan *polyol* sebesar 7,5%, tercatat bahwa nilai permeabilitas mencapai 0,020 cm/detik. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa penggunaan *crusher dust* hanya berkontribusi 50% dari total agregat yang ada pada satu benda uji, dan menghasilkan dampak yang lebih positif terhadap kemampuan campuran beraspal berpori dalam mengalirkan air.

4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan

Pengujian berat jenis pada campuran beraspal berpori dilakukan dengan total 18 benda uji yang telah dirancang dengan tiga variasi berbeda untuk penggunaan *crusher dust* dan tiga variasi berbeda untuk penambahan *polyol*. Tujuan utama dibalik pelaksanaan pengujian berat jenis ini adalah untuk menggali dan memahami karakteristik dari berat jenis maksimum yang dapat dicapai oleh campuran beraspal berpori melalui penggunaan variasi berbeda dalam penggunaan *crusher dust* serta penambahan *polyol*. Pengujian berat jenis ini diarahkan untuk mengetahui tentang sejauh mana campuran beraspal berpori yang telah dimodifikasi mampu mencapai titik optimal dalam hal berat jenisnya dengan penerapan komponen tambahan. Oleh karena itu, data-data yang dihasilkan dari pengujian ini memiliki peran penting dalam mengevaluasi efektivitas modifikasi campuran tersebut.

Seluruh hasil pengukuran dan data yang diperoleh dari pengujian ini dirujuk pada Tabel 4.14, memberikan pandangan menyeluruh tentang berbagai variasi campuran beraspal berpori yang telah diuji serta berat jenis yang dihasilkan oleh masing-masing variasi tersebut. Melalui analisis dan interpretasi data ini, dapat diperoleh pemahaman tentang bagaimana perubahan dalam penggunaan *crusher dust* dan penambahan *polyol* mempengaruhi berat jenis maksimum campuran beraspal berpori.

Tabel 4.14 Data Berat Jenis Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah

Variasi Kadar Aspal (%)	Benda Uji	A (Gram)	D (Gram)	E (Gram)	E hisap (Gram)
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 5%	1	500,5	2247,1	2534,7	2539,9
	2	500,3	2248,4	2532,6	2542,4
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	500,8	2247,1	2529,6	2540,9
	2	500,4	2242,8	2533,7	2539,8

Tabel 4.14 Data Berat Jenis Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah
(Lanjutan)

Variasi Kadar Aspal (%)	Benda Uji	A (Gram)	D (Gram)	E (Gram)	E hisap (Gram)
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 10%	1	500,7	2248,4	2528,6	2540,2
	2	500,4	2249,1	2534,9	2542,9
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 5%	1	500,6	2248,8	2534,1	2541,7
	2	500,6	2247,8	2531,5	2539
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	500,2	2245,5	2535,2	2541,4
	2	500,5	2245,1	2529,7	2540,1
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 10%	1	500,6	2545,8	2530,4	2538,7
	2	500,5	2250,2	2536,3	2540,3
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 5%	1	500,8	2252,1	2540,1	2545,7
	2	500,3	2247,3	2533,9	2541,8
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	500,6	2252,1	2540	2543,3
	2	500,5	2251,5	2536,4	2546,8
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 10%	1	500,7	2252,9	2537,1	2546,3
	2	500,7	2251,6	2541,3	2547,2

Tabel 4.14 menunjukkan sekumpulan data hasil pengujian yang memiliki peran penting dalam proses perhitungan nilai berat jenis maksimum pada campuran beraspal berpori, yang melibatkan penggunaan *crusher dust* serta penambahan *polyol*. Dalam pengujian ini terdapat sembilan variasi kadar yang terdiri dari tiga variasi kadar *crusher dust* dan tiga variasi kadar *polyol*. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai berat jenis maksimum yang paling optimal pada campuran beraspal berpori. Hasil perhitungan berat jenis maksimum dirujuk pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Berat Jenis Maksimum Beraspal Berpori dengan bahan Tambah

Variasi Kadar Aspal (%)	Benda Uji (gram/cm ³)	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (gram/cm ³)	Rata-Rata Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (gram/cm ³)	Gmm (gram/cm ³)	Rata-Rata Gmm (gram/cm ³)
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 5%	1	2,29	2,28	2,34	2,36
	2	2,28		2,39	
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 5%	1	2,351	2,333	2,410	2,417
	2	2,315		2,425	
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 7,5%	1	2,294	2,341	2,419	2,440
	2	2,389		2,460	
Limbah 0% + <i>Polyol</i> 10%	1	2,271	2,301	2,397	2,409
	2	2,332		2,422	

Tabel 4.15 Hasil Berat Jenis Maksimum Beraspal Berpori dengan bahan
Tambah

Variasi Kadar Aspal (%)	Benda Uji (gram/cm ³)	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (gram/cm ³)	Rata-Rata Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (gram/cm ³)	Gmm (gram/cm ³)	Rata-Rata Gmm (gram/cm ³)
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 5%	1 2	2,325 2,308	2,317	2,410 2,391	2,400
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 7,5%	1 2	2,376 2,318	2,347	2,448 2,436	2,442
Limbah 50% + <i>Polyol</i> 10%	1 2	0,970 2,334	1,652	0,986 2,379	1,682
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 5%	1 2	2,353 2,341	2,347	2,417 2,431	2,424
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 7,5%	1 2	2,354 2,321	2,337	2,391 2,439	2,415
Limbah 100% + <i>Polyol</i> 10%	1 2	2,313 2,373	2,343	2,415 2,441	2,428

Tabel 4.15 menyajikan hasil-hasil yang diperoleh dari pengujian sembilan variasi kadar yang telah diuji. Dalam pengujian ini, disimpulkan bahwa masing-masing dari sembilan variasi kadar yang diujikan, seluruh kadar tersebut telah memenuhi standar yang ditetapkan. Fenomena ini menunjukkan bahwa campuran beraspal berpori yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Namun, dari hasil perhitungan, terlihat bahwa variasi kadar yang mencapai berat jenis terbesar ada pada variasi kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* sebesar 5%. Sementara itu, pada sisi lain, nilai berat jenis yang paling rendah dicapai pada variasi kadar dengan kombinasi *crusher dust* 50% dan penambahan *polyol* sebesar 10%. Hal ini menandakan bahwa adanya variasi dalam karakteristik berat jenis campuran beraspal berpori tergantung pada komposisi *crusher dust* dan penambahan *polyol* yang digunakan.

Pada kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* sebesar 7,5%, diperoleh nilai G_{mm} yang terbesar. Sementara itu, dalam situasi dengan kadar *crusher dust*

sebesar 50% dan penambahan *polyol* sebesar 10%, tercatat sebagai variasi dengan nilai G_{mm} terendah diantara sembilan variasi kadar yang diujikan.

4.9 Hasil Pengujian Marshall Beraspal Berpori dengan Bahan Tambahan

Pengujian Marshall terhadap campuran beraspal berpori yang melibatkan penggunaan *crusher dust* dan penambahan zat *polyol* sebagai komponen campuran, telah dilakukan dengan tujuan utama yaitu untuk melakukan evaluasi menyeluruh terhadap stabilitas, kekuatan, dan ketahanan dari campuran beraspal berpori. Campuran beraspal berpori ini dirancang dan diuji untuk mengetahui pengaruh serta performa campuran beraspal berpori.

Dengan menggunakan metode pengujian Marshall, campuran beraspal berpori ini dikenakan pada serangkaian uji untuk mengukur dan menganalisis berbagai parameter seperti stabilitas, kekuatan, dan ketahanan. Proses pengujian ini tidak hanya berfokus pada campuran beraspal berpori sebagai entitas utuh, tetapi juga mencerminkan pengaruh dari penggunaan *crusher dust* dan penambahan zat *polyol*.

Melalui pengujian ini tujuan utama adalah untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana interaksi antara berbagai komponen campuran, termasuk *crusher dust* dan zat *polyol*, dapat mempengaruhi performa dan kualitas campuran beraspal berpori .

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Marshall beraspal berpori dengan Bahan Tambahan

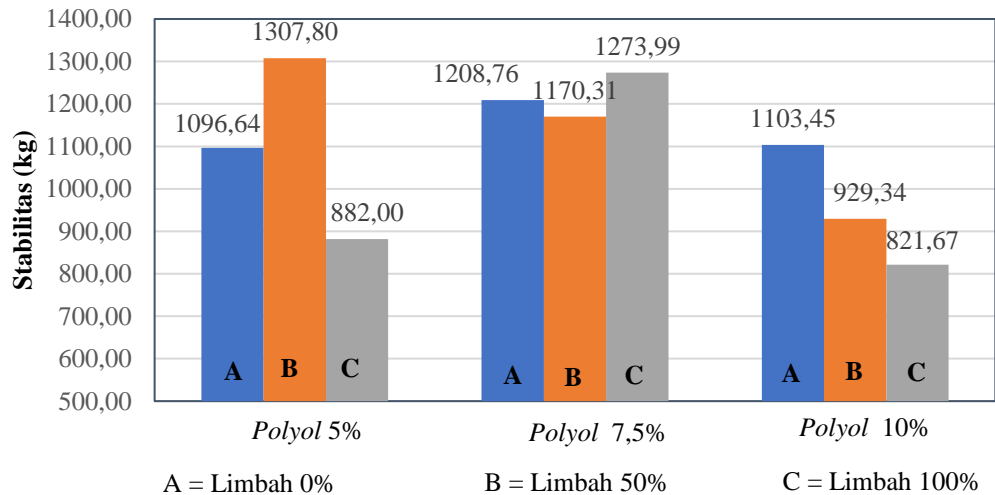
BU	A (%)	B (%)	C (gr)	D (gr)	E (gr)	F (mm)	G (mm ³)	H (gr/cm ³)	I (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)	
1	Limbah 0% + Polyol 5%	4,76	1174	1209	630,5	7,95	578,5	2,03	2,42	16,05	27,48	41,58	82,00	1068,17	8,00	133,52	
2			1188	1230	641,8	8,11	588,2	2,02		16,45	27,82	40,87	86,00	1093,28	6,00	182,21	
3			1182	1216	635,4	8,07	580,6	2,04		15,78	27,25	42,06	98,00	1276,60	5,00	255,32	
4			1186	1225	642,2	8,11	582,8	2,04		15,81	27,27	42,00	68,00	885,80	5,00	177,16	
5			1180	1218	633,5	8,14	584,5	2,02		16,48	27,85	40,80	89,00	1159,36	6,00	193,23	
			Rata-rata					2,03			16,12	27,53	41,46	84,60	1096,64	6,00	188,29
1	Limbah 0% + Polyol 7,5%	4,76	1181	1215	627,1	8,00	587,9	2,01	2,44	17,66	28,21	37,39	93,00	1182,27	5,00	236,45	
2			1178	1213	621,1	8,08	591,9	1,99		18,43	28,88	36,19	83,00	1055,15	5,00	211,03	
3			1185	1222	628,9	7,91	593,1	2,00		18,11	28,60	36,69	110,00	1398,39	6,00	233,06	
4			1134	1170	608,9	7,26	561,1	2,02		17,16	27,78	38,21	80,00	1079,79	5,00	179,96	
5			1085	1116	573,8	7,37	542,2	2,00		17,98	28,49	36,89	91,00	1328,23	5,00	265,65	
			Rata-rata					2,00			17,87	28,39	37,06	91,40	1208,76	5,40	225,23
1	Limbah 0% + Polyol 10%	4,76	1191	1231	635,3	8,08	595,7	2,00	2,41	17,02	28,55	40,38	80,00	1017,01	4,00	254,25	
2			1181	1219	627,6	8,05	591,4	2,00		12,12	28,63	40,21	78,00	991,58	5,00	198,32	
3			1181	1221	636,1	8,01	584,9	2,02		16,20	27,84	41,82	96,00	1250,54	6,00	208,42	
4			1188	1228	630,3	8,08	597,7	1,99		17,51	28,97	39,56	90,00	1144,13	6,00	190,69	
5			1194	1228	627,4	8,00	600,6	1,99		17,49	28,95	39,59	91,00	1114,00	6,00	185,67	
			Rata-rata					2,00			17,07	28,59	40,33	87,00	1103,45	5,40	207,470
1	Limbah 50% + Polyol 5%	4,76	1176	1224	637,0	7,84	587,0	2,00	2,40	16,54	28,40	41,77	95,00	1431,34	7,00	204,48	
2			1177	1220	632,2	7,74	587,8	2,00		16,58	28,44	41,69	98,00	1476,54	6,00	246,09	
3			1168	1218	636,4	7,60	581,6	2,01		16,34	28,23	42,13	85,00	1280,68	7,00	182,95	
4			1185	1227	635,6	7,96	591,4	2,00		16,53	28,39	41,79	62,00	934,14	6,00	155,69	
5			1126	1158	600,5	7,40	557,5	2,02		15,86	27,82	42,99	94,00	1416,28	6,00	236,05	
			Rata-rata					2,01			16,37	28,26	42,07	86,80	1307,80	6,40	205,05

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Marshall beraspal berpori dengan bahan Tambahan (Lanjutan)

BU	A (%)	B (%)	C (gr)	D (gr)	E (gr)	F (mm)	G (mm ³)	H (gr/cm ³)	I (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)	
1	Limbah 50% + Polyol 7,5%	4,76	1154	1195	625,7	7,74	569,3	2,03	2,44	16,99	27,56	38,35	71,00	1036,31	8,00	129,54	
2			1173	1209	624,1	7,39	584,9	2,01		17,87	28,33	36,91	88,00	1284,44	5,00	256,89	
3			1170	1207	622,3	8,15	584,7	2,00		18,06	28,49	36,62	77,00	1123,89	5,00	224,78	
4			1171	1209	625,2	7,84	583,8	2,01		17,86	28,32	36,93	90,00	1356,01	6,00	226,00	
5			1172	1209	622,9	7,97	586,1	2,00		18,11	28,54	36,53	72,00	1050,91	5,00	210,18	
			Rata-rata						2,01		17,78	28,25	37,06	79,60	1170,31	5,800	209,48
1	Limbah 50% + Polyol 10%	4,76	1173	1211	622,4	7,67	588,6	1,99	1,68	17,29	28,78	39,92	66,00	839,03	5,00	167,81	
2			1176	1217	637,0	7,78	580,0	2,03		15,85	27,54	42,45	102,00	1328,70	6,00	221,45	
3			1184	1227	631,7	7,75	595,3	1,99		17,45	28,92	39,65	60,00	762,76	6,00	127,13	
4			1177	1218	623,3	7,77	594,7	1,98		17,86	29,27	38,99	67,00	851,74	6,00	141,96	
5			1173	1219	629,0	7,78	590,0	1,99		17,49	28,95	39,60	68,00	864,46	7,00	123,49	
			Rata-rata						2,00		17,19	28,69	40,10	72,60	929,34	6,00	156,37
1	Limbah 100% + Polyol 5%	4,76	1162	1199	627,4	7,69	571,6	2,03	2,42	15,31	27,35	44,02	80,00	1079,79	6,00	179,96	
2			1187	1221	632,2	7,57	588,8	2,02		16,02	27,95	42,71	75,00	953,44	6,00	158,91	
3			1174	1196	648,0	7,88	548,0	2,14		10,75	23,44	54,13	35,00	488,89	6,00	81,48	
4			1175	1208	627,7	7,67	581,3	2,02		15,79	27,76	43,12	61,00	794,62	6,00	132,44	
5			1166	1200	627,7	7,54	572,3	2,04		15,12	27,19	44,38	81,00	1093,28	2,00	546,64	
			Rata-rata						2,05		14,60	26,74	45,40	66,40	882,003	5,20	219,89
1	Limbah 100% + Polyol 7,5%	4,76	1154	1200	633,6	7,62	566,4	2,04	2,42	16,57	27,19	39,07	87,00	1269,85	6,00	211,64	
2			1175	1215	638,9	7,61	576,1	2,04		16,48	27,11	39,33	90,00	1313,63	5,00	262,73	
3			1182	1225	645,6	7,67	579,4	2,04		16,46	27,09	39,26	86,00	1255,25	4,00	313,81	
4			1147	1189	625,7	7,54	563,3	2,04		16,61	27,23	38,99	75,00	1130,01	5,00	226,00	
5			1178	1222	644,6	7,50	577,4	2,04		16,45	27,09	39,27	96,00	1401,21	5,00	280,24	
			Rata-rata						2,04		16,51	27,14	39,16	86,80	1273,99	5,00	258,88
1	Limbah 100% + Polyol 7,5%	4,76	1174	1217,3	630,7	7,67	586,6	2,00	2,43	16,94	28,48	40,52	50,00	635,63	4,00	158,91	
2			1169	1214,1	630,1	7,80	584,0	2,00		16,92	28,46	40,55	70,00	911,85	5,00	182,37	
3			1182	1226,9	633,9	7,49	593,0	1,99		17,27	28,77	39,95	65,00	826,31	7,00	118,05	
4			1176	1218,9	645,8	7,87	572,6	2,05		14,76	26,60	44,41	72,00	971,81	6,00	161,97	
5			1180	1228,1	635,8	7,64	592,3	1,99		17,32	28,80	39,88	60,00	762,76	6,00	127,13	
			Rata-rata						2,10		16,64	28,22	41,03	63,40	821,67	5,60	149,68

Keterangan :

- A = Aspal terhadap batuan (%)
- B = Aspal terhadap campuran (%)
- C = Berat benda uji kering (gram)
- D = Berat benda uji keadaan jenuh (gram)
- E = Berat benda uji dalam air (gram)
- F = Tinggi benda uji (mm)
- G = Volume benda uji (mm³)
- H = Berat isi benda uji (gram/mm³)

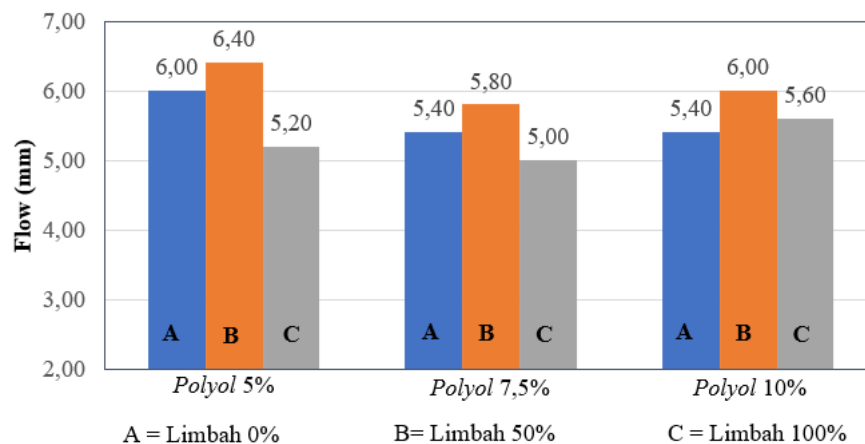


Gambar 4.7 Hasil Stabilitas Campuran Beraspal Berpori dengan Bahan
Tambah

Tabel 4.15 serta Gambar 4.7, menunjukkan bahwa seluruh variasi kadar *crusher dust* dan penambahan zat *polyol* yang telah diuji berhasil memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan. Dapat dilihat bahwa pada situasi kadar *crusher dust* sebesar 50% dan penambahan *polyol* sebesar 5%, tercatat nilai stabilitas tertinggi yang mencapai 1307,80 kg. pencapaian ini menggambarkan bagaimana kombinasi kedua komponen tersebut mampu memberikan dampak positif terhadap stabilitas campuran beraspal berpori. Selanjutnya, variasi kadari *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* sebesar 7,5% juga mencapai nilai stabilitas yang signifikan, yakni 1273,99 kg. Pada kondisi ini, campuran beraspal berpori berhasil memenuhi kualifikasi yang telah ditentukan.

Pada komposisi dengan kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* sebesar 7,5%, variasi dengan kadar *crusher dust* 0% dan penambahan agregat sebesar 10%, ditemukan nilai stabilitas berturut-turut sebesar 1208,76 kg, 1170,31 kg, dan 1103,45 kg. Pada variasi kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* sebesar 5% mencapai nilai stabilitas sebesar 1096,64 kg. sementara pada variasi kadar *crusher dust* 50% dan penambahan *polyol* sebesar 10%, dicapai nilai stabilitas sebesar 9229,34 kg, yang memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Pada variasi dengan kadar *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* sebesar 5%, ditemukan nilai stabilitas sebesar 10%, tercatat nilai stabilitas sebesar 821,67 kg. keduanya mencerminkan variasi dalam stabilitas campuran beraspal berpori dengan komposisi yang berbeda. %. Hal ini terjadi karena semakin banyak *polyol* dan *crusher dust* yang digunakan maka nilai stabilitas semakin kecil. Dalam lingkup pengujian Marshall ini, tidak hanya nilai stabilitas yang diamati, tetapi juga nilai *flow* yang menjadi elemen penting. Hasil nilai *flow* dirujuk pada Gambar 4.3 yang merupakan hasil mengenai variasi nilai *flow* berbagai kondisi campuran beraspal berpori.

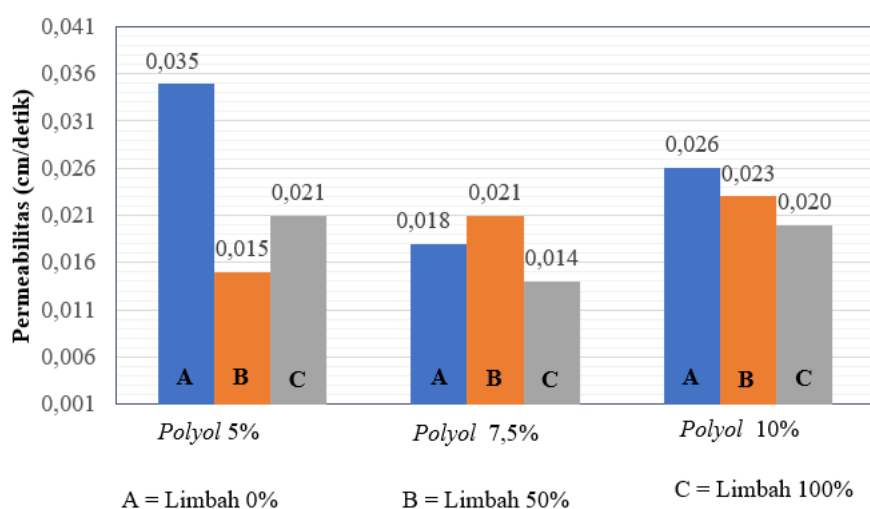


Gambar 4.8 Hasil *Flow* Beraspal Berpori dengan Bahan Tambah

Gambar 4.3 menunjukkan mengenai nilai *flow* yang telah diuji dan menunjukkan bahwa nilai-nilai ini telah memenuhi standar yang diberlakukan oleh *Australian Road Standard*, yang mempersyaratkan nilai *flow* dalam kisaran 2 hingga 6 mm. Dalam analisis mendalam dari hasil yang diperoleh dapat dilihat pada situasi kadar *crusher dust* 0%, tampak bahwa penambahan *polyol* sebesar 7,5% dan 10% menghasilkan nilai *flow* yang paling optimal, yakni 5,40 mm. Dalam hal ini, terlihat bahwa penggunaan *polyol* dalam jumlah yang lebih tinggi secara proporsional berdampak positif terhadap nilai *flow* campuran beraspal berpori. Namun, ketika melihat pada variasi kadar mencapai 6,40 mm, yang tidak memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh *Australian Road Standard*.

Pada kadar *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* 5%, diperoleh nilai *flow* sebesar 5,20 mm. Nilai ini mengalami penurunan saat kadar *polyol* ditingkatkan menjadi 75%, yakni menjadi 5,00 mm. Namun, terjadi kenaikan nilai *flow* menjadi 5,60 mm saat kadar *polyol* dinaikan menjadi 10%. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan semakin tingginya kadar *polyol* yang digunakan, semakin tinggi juga nilai *flow* yang dihasilkan. Hal ini mencerminkan adanya interaksi kompleks antara komponen-komponen dalam campuran beraspal berpori yang menghasilkan hasil yang dinamis terhadap perubahan dalam komposisi.

Dalam perancangan yang holistik, perlu untuk mempertimbangkan pengujian permeabilitas sebagai bagian dari proses evaluasi campuran beraspal berpori. Pengujian permeabilitas ini memiliki tujuan utama untuk mengevaluasi kemampuan campuran beraspal berpori dalam menyerap air. Informasi yang dihasilkan dari pengujian ini berperan penting dalam memahami bagaimana campuran beraspal berpori dalam menghadapi kondisi hujan dan genangan air.

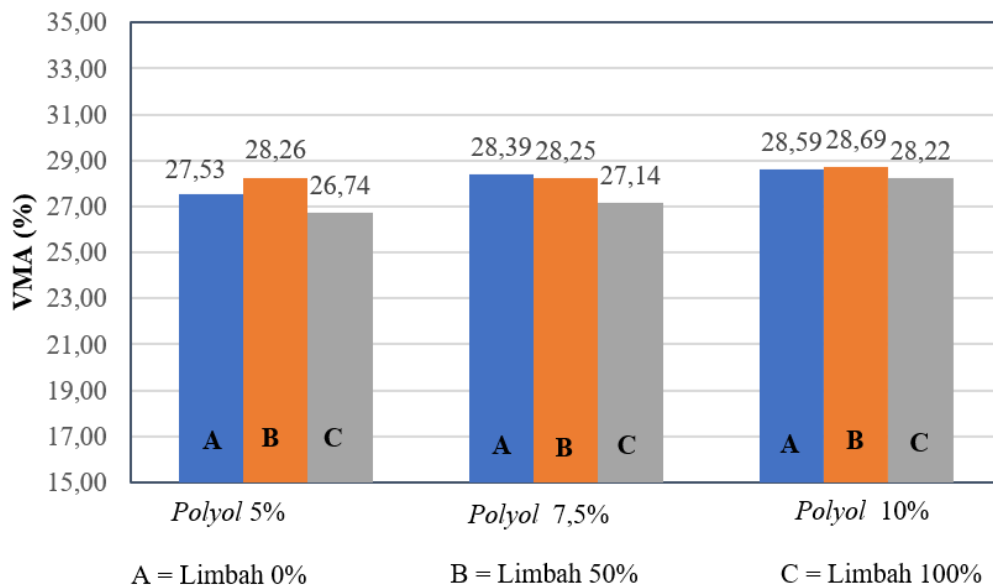


Gambar 4.9 Hasil Pengujian Permeabilitas

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa seluruh kadar limbah agregat dengan penambahan *polyol* telah memenuhi spesifikasi yaitu $<0,01$ cm/detik. Hasil nilai permeabilitas tertinggi didapatkan pada kadar *crusher dust* 0% dengan penambahan *polyol* 5% sebesar 0,035 cm/detik. Pada kadar *crusher dust* 0% dengan penambahan *polyol* 10% memperoleh nilai tertinggi kedua yaitu 0,026 cm/detik. Nilai permeabilitas sebesar 0,023 cm/detik didapatkan pada kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 10%. Pada kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* 5%, kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 7,5% dan kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* 10% mendapatkan nilai hasil pengujian secara berturut-turut sebesar 0,021cm/detik dan 0,20 cm/detik

Nilai permeabilitas yang didapatkan pada kadar *crusher dust* 0% dengan penambahan *polyol* 7,5% mendapatkan hasil pengujian sebesar 0,018 cm/detik. Dengan nilai permeabilitas sebesar 0,015 cm/detik dan 0,014 cm/detik secara berturut-turut didapatkan pada kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol*

5% dan kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan limbah 0,014 cm/detik. Maka dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar *crusher dust* dan penambahan zat *polyol* yang digunakan dapat menyebabkan menurunnya nilai permeabilitas pada campuran beraspal berpori. Pada pengujian campuran beraspal berpori terdapat nilai VMA yang dirujuk pada Gambar 4.10.

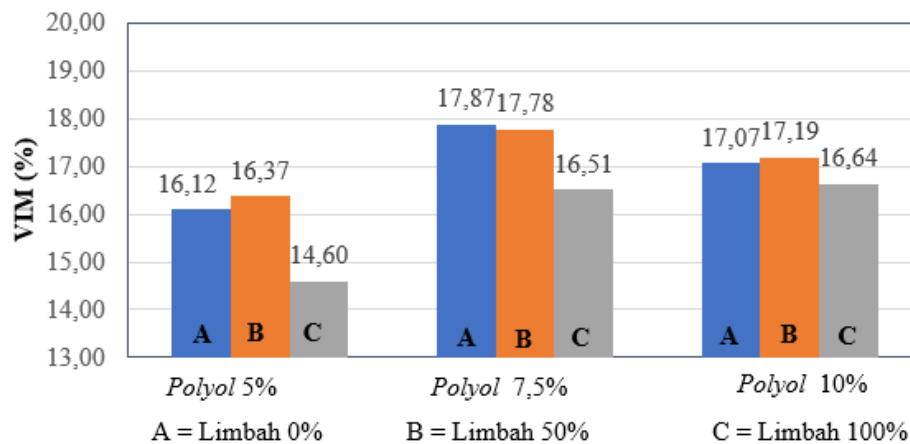


Gambar 4.10 Hasil Nilai VMA

Dalam melakukan pengujian komprehensif terhadap campuran beraspal berpori, Fokus utama tertuju pada pengamatan dan evaluasi dari serangkaian variasi kadar yang ada yang dirujuk pada Gambar 4.10. Hasil pengujian diperoleh bahwa, semua variasi kadar yang diuji telah memenuhi kualifikasi yang telah ditentukan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) yaitu >15. Hasil pengujian mencerminkan keberhasilan campuran beraspal berpori dalam memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Gambar 4.10 merupakan hasil analisis nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*). Pada variasi kadar *crusher dust* sebesar 50% dan penambahan *polyol* sebesar 10% menunjukkan nilai VMA tertinggi, mencapai 28,69%. Sebaliknya, nilai VMA terendah dicapai oleh variasi kadar dengan *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* sebesar 5%, dengan nilai sebesar 26,74. Sementara itu, pada situasi dengan kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* 5%, tercatat nilai VMA sebesar 27,53%. Nilai VMA pada kadar *polyol* 7,5% mencapai 28,39%, dan pada kadar 10% menghasilkan nilai VMA sebesar 28,59%. Variasi dengan kadar *crusher dust* 50% dan penambahan *polyol* 5% mencapai nilai VMA sebesar 28,26%, sementara pada kadar *polyol* 7,5% tercatat nilai VMA sebesar 28,25%. Pada kondisi dengan kadar *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* sebesar 7,5% dicapai nilai VMA sebesar 27,14%, dan penambahan *polyol* sebesar 10%, nilai VMA mencapai 28,22%.

Selain pengamatan terhadap nilai VMA, informasi mengenai nilai VIM (*Voids in Mineral*) juga menjadi bagian penting dalam pemahaman tentang karakteristik campuran beraspal berpori. Nilai-nilai VIM ini direfleksikan dalam Gambar 4.5 dan memberikan wawasan lebih lanjut tentang komposisi campuran antara komponen yang berbeda. Dengan demikian, data VIM memberikan informasi tambahan dalam memberikan pemahaman menyeluruh tentang hasil dari campuran beraspal berpori dalam variasi kadar dan komposisi yang beragam.



Gambar 4.11 Hasil Nilai VIM

Gambar 4.11 menunjukkan hasil nilai VIM yang signifikan dalam mengevaluasi campuran beraspal berpori dengan variasi kadar *polyol* yang berbeda. Dalam pemahaman yang lebih mendalam terhadap data yang disajikan, terlihat gambaran tentang hasil campuran beraspal terhadap perubahan komposisi dan kadar.

Pada kondisi dengan kadar *polyol* 5%, nilai VIM tertinggi ditemukan pada variasi kadar dengan *crusher dust* 50%, dengan nilai sebesar 16,37%. Hal ini menunjukkan bahan proporsi komposisi ini memberikan kontribusi paling besar terhadap pembentukan *voids* dalam *mineral aggregate*. Selanjutnya nilai VIM tertinggi kedua diperoleh pada kadar *crusher dust* 0%, yakni mencapai 16,22%. Sementara itu, variasi dengan kadar *crusher dust* 100% menghasilkan nilai VIM terendah, yakni 14,60%. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi dengan kadar *crusher dust* 100% memiliki dampak yang lebih rendah terhadap pembentukan *voids* dalam campuran beraspal berpori.

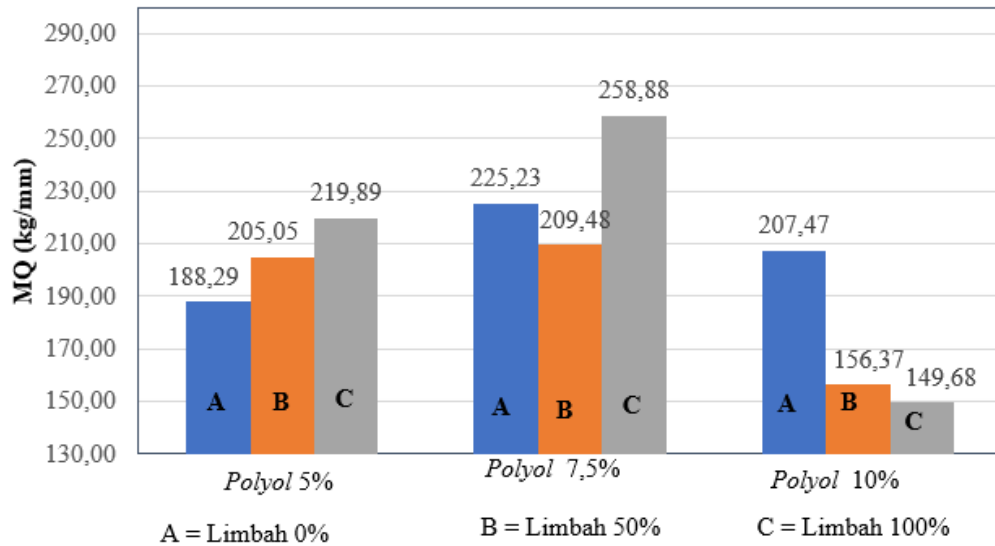
Pada kondisi dengan kadar polyol sebesar 7,5%, analisis terhadap variasi kadar *crusher dust* menunjukkan bahwa kadar *crusher dust* 0% mencapai nilai VIM tertinggi, yakni 17,87%. Variasi dengan kadar *crusher dust* 50%, menempati posisi tertinggi kedua, dan nilai VIM terendah dicapai pada kondisi dengan kadar *crusher dust* 100%.

Sementara itu, pada kadar *polyol* 10%, nilai VIM tertinggi ditemukan pada variasi dengan kadar *crusher dust* 50%, dengan nilai 17,07%. Nilai tertinggi selanjutnya diperoleh oleh variasi dengan kadar *crusher dust* 0% dan 100%, yakni masing-masing sebesar 17,07% dan 16,64%. Hasil ini mencerminkan interaksi kompleks antara komponen-komponen dalam campuran beraspal berpori serta bagaimana kadar dan komposisi berperan dalam membentuk karakteristik *voids* dalam material. Selain nilai VIM terdapat nilai MQ yang dirujuk pada Gambar 4.8.

Dalam proses pengujian yang melibatkan campuran beraspal berpori, salah satu parameter penting yang diukur adalah nilai Marshall *Quotient*. Marshall *Quotient* merupakan sebuah rasio yang dihitung dengan membagi nilai stabilitas suatu campuran beraspal dengan diameternya. Rasio ini pada dasarnya memberikan indikasi tentang sejauh mana campuran beraspal memiliki kemampuan untuk menahan deformasi dan tegangan yang timbul akibat beban dan kondisi lalu lintas.

Tidak hanya sebagai parameter, Marshall *Quotient* juga berfungsi sebagai suatu penanda penting terkait kualitas dan kemampuan dari campuran beraspal berpori yang sedang diuji. Spesifikasi nilai maksimal untuk Marshall *Quotient* ini telah ditentukan, yakni sebesar 400 kg/mm. Angka ini memberikan batasan untuk

tingkat deformasi dan perubahan dimensi yang dapat diterima oleh campuran. Nilai Marshall *Quotient* dirujuk pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Nilai Marshall *Quotient*

Gambar 4.12 memiliki peran yang sangat penting dalam memberikan informasi mengenai parameter nilai Marshall *Quotient* (MQ) dari campuran beraspal berpori yang telah dimodifikasi dengan bahan tambah. Dalam pandangan yang lebih komprehensif terhadap hasil pengujian, Gambar 4.9 memberikan gambaran tentang bagaimana karakteristik campuran beraspal berpori dapat berubah berdasarkan variasi kadar dan komposisi yang berbeda.

Keseluruhan variasi kadar yang diuji telah berhasil memenuhi kualifikasi yang ditetapkan, yaitu dengan nilai MQ yang tidak melebihi maksimal sebesar 400 kg/mm. Terdapat variasi dalam nilai MQ pada setiap kadar yang diuji, mencerminkan hasil dari campuran beraspal berpori terhadap perubahan dalam komposisi dan komponen tambahan yang digunakan.

Nilai MQ tertinggi didapatkan pada kondisi dengan kadar *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* 7,5%, dengan angka mencapai 258,88 kg/mm. Pada kondisi dengan kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* 7,5%, kondisi dengan kadar *crusher dust* 100% dan *polyol* 5%, serta kondisi dengan kadar *crusher dust* 50% dan *polyol* 7,5%, nilai MQ berturut-turut mencapai 225,23 kg/mm, 219,89 kg/mm, dan 209,48 kg/mm. Selanjutnya, nilai MQ sebesar 207,47 kg/mm tercatat pada kondisi dengan kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* 10%. Kadar yang memperoleh nilai MQ dibawah angka 200 kg/mm tercatat pada kondisi dengan kadar *crusher dust* 0% dan penambahan *polyol* 5%, kondisi dengan kadar *crusher dust* 50% dan penambahan *polyol* 10%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian campuran beraspal berpori dengan memanfaatkan *crusher dust* yang mensubstitusikan agregat alami dari bin 1, bin 2, bin 3, dan bin 4 serta zat *polyol* yang mengurangi penggunaan aspal dengan menambahkan zat tersebut. Didapatkan hasil bahwa, nilai stabilitas pada Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar 5% sebesar 518,20 kg. Pada kadar tersebut mengalami peningkatan sebanyak 152% pada substitusi *crusher dust* 50% dan penambahan *polyol* 5% yaitu sebesar 1307,80 kg, tetapi pada kadar tersebut tidak lolos dari kualifikasi yang ditentukan, karena nilai *flow* yang didapatkan sebesar 6,40 mm.

Kadar tertinggi yang lolos kualifikasi nilai stabilitas, dan *flow* yaitu ada pada kadar substitusi *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* 7,5% yaitu dengan nilai stabilitas yang mengalami kenaikan 146% yaitu sebesar 1273,99 kg dan *flow* sebesar 5,00 mm. Nilai *flow* pada kadar *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* 7,5% mengalami penurunan sebanyak 3,84% dari nilai *flow* pada KAO 5%. Sedangkan untuk nilai permeabilitas mengalami penurunan sebesar 65% dari koefisien permeabilitas KAO yaitu 0,040 cm/detik. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak penggunaan *crusher dust* dan *polyol* menyebabkan rapatnya rongga udara yang dapat menghalangi masuknya air kedalam campuran beraspal. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa penggunaan substitusi *crusher dust* dan *polyol* dapat mempengaruhi nilai stabilitas, *flow*, dan permeabilitas pada campuran beraspal berpori.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian campuran beraspal berpori dengan memanfaatkan *crusher dust* dan zat *polyol* diperlukan penelitian lanjutan dengan beberapa saran. Penelitian ini bisa menggunakan limbah agregat yang berbeda seperti limbah beton hasil *crushing test*, limbah B3 seperti filter rokok dan masker medis, serta variasi kadar *polyol* yang berbeda dan bervariasi atau Zat *polyurethane* yang digunakan dapat diganti dengan *polyurethane* tipe B yaitu *isocyanate*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, M., & Hamzah, U. (2018). Pengaruh Suhu Pemanasan Campuran Aspal Panas Terhadap Kinerja Aspal Keras. *E-Jurnal Teknik Sipil*, 6(3). 1-8.
- Arlia, L. Sofyan M. Saleh, Renni Anggraini. "Karakteristik campuran aspal porus dengan substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70." *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, Vol. 1 No.3, 657-666, 2018.
- AAPA. (2004). National Asphalt Specification Second Edition. Australia.
- Australian Road Standard*. (2002). *Specification For Porous Asphalt*. Australia.
- Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Perkerasan Konstruksi Jalan Jembatan Revisi 2. Jakarta.
- Candra, P.R, Henri Siswanto, Boedi Rahardjo (2021). Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porous dengan Penambahan *Polyurethane*. Vol 19.
- Ceklik, Tahir & Khaled Marar (1996). *Effects Of Crushed Stone Dust On Some Properties Of Concrete*. Vol 26. 1121-1130
- Gasruddin, Ahmad. "Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Aspal Berongga Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70." n.d.
- Ginting, Denny Kurniawan. (2019). Kajian Eksperimental Perbandingan Kadar Aspal Variasi Pada Campuran ACWC.
- Gunaran, Danny & Amelia Makmur. "Pengaruh Penambahan Polyurethane Terhadap Stabilitas Campuran Beraspal Berpori." *HPJI*, 2016.
- Ismayalomi, S., & Rahardjo, B (2019). Kajian Eksperimental Penambahan Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan Asbuton LGA (*Lawele Granular Asphalt*) pada Campuran Aspal. *Jurnal Bangunan*, 24(1) 1-14.
- Kurniawan, I., Muzakky, A., dan Prasetyo, A. "Pengaruh Campuran Aspal Dengan Bahan Penstabil Serat Jerami Padi Terhadap Karakteristik Kekerasan dan Stabilitas Campuran." *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 7(1), 2019: 8-16.

- Makmur, A, Setyabudi, Rendih, Anggi Debrinda Rama, Jhon Gayus Mangalla, Widsri Lai Lai P. "Pengaruh Penambahan Variasi Polyurethane Terhadap Peningkatan Karakteristik Campuran Aspal Berpori." *PSFST*, 2017.
- Mardiana, M., Sudiro, S., dan Suryanto, H. "Pengaruh Variasi Bahan Pengisi Terhadap Kinerja Campuran Berpori Untuk Jalan Raya." *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 2020: 30-38.
- Metode Uji Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2012.
- NAPA. (2003). *Design Construction and Maintenance Guide for Porous Asphalt Pavement*. United States.
- Noor, Achmad (2020). Analisis Pemilihan Alat Pemecah Batu (*Stone Crusher*) pada Proyek Pembangunan jalan.
- Notoatmodjo, S. 2018. *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Cetakan Ketiga. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Purba, Amsal Damaris, Pris Mastur Simamora (2021). Perancangan *Stone Crusher* untuk Memenuhi Kebutuhan AMP dengan Kapasitas 20 Ton/Jam. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, Vol 2, No. 1
- Purwanto, D., Samsuruzal, S., & Suhendro, b. (2019). Determinasi Kadar Aspal Optimum Menggunakan Metode Marshall pada Campuran AC-WC dengan Bahan Tambah Serbuk Kayu di Provinsi Lampung. *Jurnal Transportasi*, 19(1), 1-12.
- Purwanto, A., Santosa, B., dan Yidono, H. "Utilization of Stone Crusher Waste In Pervious Asphalt Mixture." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 553(!), 2019.

- Ramlan. "Variasi Komposisi Gradasi Batuan Terhadap Karakteristik Beton Aspal Dengan Uji Marshall." *Pena Teknik: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik Volume 1, Nomor 1*, 2016: 1.
- Sembung, Nadya Tesalonika Theo K. Sendow, Steve Palenewan. "Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon." *Jurnal Sipil Statistik Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado Vol. 8 No. 3* 345-352, 2020: 345-346.
- Sihombing, Atmy Verani Rouly. "Pengaruh Penggunaan Agregat Dari Sumber Yang Berbeda Terhadap Kinerja Aspal Porus." *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi*, 2020: 170.
- SNI. "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar." Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- Sutanto, H., dan Hardiyatmo, H.C. "Evaluasi Penggunaan Polyurethane Sebagai Bahan Pengisi Rongga Udara Pada Campuran Aspal Berpori." *Jurnal Transportasi, 16s(3)*, 2016: 240-249.

LAMPIRAN 1
Hasil Pengujian Material

FORMULIR PENGUJIAN ANALISIS AGREGAT

No: / / / 2023

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Analisis Saringan Agregat Bln 1

Nomor saringan	Ukuran saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	
		Sampel 1	Sampel 2
1"	25,4	0	0
3/4"	19,050	0	0
1/2"	12,700	2682	2682
3/8"	9,600	1241	1241
4	4,740	1037	1037
8	2,400	157	157
16	1,200	0,8	0,8
30	0,425	0,4	0,4
50	0,300	0,3	0,3
100	0,150	0,9	0,9
200	0,075	0,7	0,7
Pan		0,1	0,3
Total Berat Sampel (gr)		5011	5120,4

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

Hal: /

FORMULIR PENGUJIAN ANALISIS AGREGAT

No: / / / 2023

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Analisis Saringan Agregat Bln 2

Nomor saringan	Ukuran saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	
		Sampel 1	Sampel 2
1"	25,4	0	0
3/4"	19,050	0	0
1/2"	12,700	0	0
3/8"	9,600	0	0
4	4,740	1802	1803
8	2,400	592	593
16	1,200	7.7	8.7
30	0,425	0.3	0.2
50	0,300	0.1	0.2
100	0,150	0.3	0.9
200	0,075	0.2	0.1
Pan		0.1	0.1
Total Berat Sampel (gr)		2402.7	2406.4

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

FORMULIR PENGUJIAN ANALISIS AGREGAT

No: / / / 2023

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Analisis Saringan Agregat Bin 3

Nomor saringan	Ukuran saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	
		Sampel 1	Sampel 2
3/8"	9,600	0	0.00
4	4,740	0	0.00
8	2,400	598.9	590.80
16	1,200	55	43.30
30	0,425	0.7	0.50
50	0,300	0.4	0.40
100	0,150	0.5	0.30
200	0,075	0.8	0.10
Pan		0.1	0.10
Total Berat Sampel (gr)		656.4	635.5

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

Hal: /

FORMULIR PENGUJIAN ANALISIS AGREGAT

No: / / / 2023

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Analisis Saringan Agregat Bin 4

Nomor saringan	Ukuran saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	
		Sampel 1	Sampel 2
4	4,740	0	0
8	2,400	0	0
16	1,200	280.4	273.50
30	0,425	113.5	143.70
50	0,300	100.6	107.80
100	0,150	110.8	108.30
200	0,075	102.89	103.90
Pan		131.75	133.30
Total Berat Sampel (gr)		840	870.5

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

Hal: /

FORMULIR PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

No: / / / 2022

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

A. Data Pengujian

	Benda Uji					
	Bin 1		Bin 2		Bin 3	
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 1	Sampel 2
Berat benda uji kering oven (gr)	985.1	974.7	977.7	987.9	975.9	978.2
Berat benda uji SSD (gr)	1009.8	1001.7	1003.7	1009.9	1002.9	1002.2
Berat benda uji dalam air (gr)	617.7	614.6	618.6	620.4	626.8	628.7

B. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

	Benda Uji								
	Bin 1			Bin 2			Bin 3		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat jenis <i>bulk</i>	2.512	2.518	2.515	2.539	2.536	2.538	2.595	2.619	2.607
Berat jenis SSD	2.575	2.588	2.582	2.606	2.593	2.600	2.667	2.683	2.675
Berat jenis semu	2.681	2.707	2.694	2.723	2.688	2.705	2.795	2.799	2.797
Penyerapan (%)	2.507	2.770	2.639	2.659	2.227	2.443	2.767	2.453	2.610

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

FORMULIR PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

No: / / / /2022

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

No.	Parameter	Notasi	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
1	Berat benda uji kondisi jenuh kering	S	500	500	gr
2	Berat benda uji kering oven	A	489.5	488	gr
3	Berat piknometer yang berisi air	B	670	670	gr
4	Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	C	978	979	gr
5	Berat benda uji dalam air (C-B)	D	308	308	gr

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

Hal: /

FORMULIR PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN ABRASI LOS ANGELES

No: / / / 2022

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angles

	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Berat awal agregat kasar (gram)	5000	5000	5000
Berat agregat kasar tertahan saringan No. 12 (gram)	4135	4217	4147
Keausan (%)	17.3	15.66	17.06
Keausan Rata-rata (%)	16.67		

Tangerang,

Dibuat oleh,	Diperiksa oleh

FORMULIR PENGUJIAN BERAT JENIS MAKSIMUM CAMPURAN ASPAL

No : / / / 2022

Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Aspal

Kadar Crusher Dust 0 (%)	Parameter	Satuan	Sampel		Rata- Rata
			1	2	
<i>Crusher Dust 0% + polyol 5%</i>	Berat agregat kering udara	gr	500,5	500,3	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2247,1	2248,4	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2534,7	2532,6	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2539,9	2542,4	
	GMM	gr/cm ³	2.410	2.425	2.417
<i>Crusher Dust 0% + polyol 7,5%</i>	Berat agregat kering udara	gr	500,8	500,7	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2247,1	2242,8	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2529,6	2533,7	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2540,9	2539,8	
	GMM	gr/cm ³	2.419	2.460	2.440
<i>Crusher Dust 0% + polyol 10%</i>	Berat agregat kering udara	gr	500,7	500,4	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2248,4	2249,1	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2528,6	2534,9	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2540,2	2542,9	
	GMM	gr/cm ³	2.397	2.422	2.409
<i>Crusher Dust 50% + polyol 5%</i>	Berat agregat kering udara	gr	500,5	500,5	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2243,3	2248	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2516,5	2525,2	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2532,4	2537,9	
	GMM	gr/cm ³	2.368	2.377	2.372
<i>Crusher Dust 50% + polyol 75%</i>	Berat agregat kering udara	gr	500,6	500,6	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2248,8	2247,8	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2534,1	2531,5	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2541,7	2539	
	GMM	gr/cm ³	2.410	2.391	2.400

Kadar Crusher Dust 0 (%)	Parameter	Satuan	Sampel		Rata- Rata
			1	2	
Crusher Dust 50% + polyol 10%	Berat agregat kering udara	gr	500,6	500,5	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2245,8	2250,2	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2540,4	2536,3	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2538,7	2540,3	
	GMM	gr/cm ³	0,986	2,379	1,682
Crusher Dust 100% + polyol 5%	Berat agregat kering udara	gr	500,8	500,3	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2252,1	2247,3	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2540,1	2533,9	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2545,7	2541,8	
	GMM	gr/cm ³	2,417	2,431	2,424
Crusher Dust 100% + polyol 7,5%	Berat agregat kering udara	gr	500,6	500,5	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2252,1	2251,5	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2540	2536,4	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2543,3	2546,8	
	GMM	gr/cm ³	2,391	2,439	2,415
Crusher Dust 100% + polyol 10%	Berat agregat kering udara	gr	500,7	500,7	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2252,9	2251,6	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2537,2	2541,3	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2546,3	2547,2	
	GMM	gr/cm ³	2,415	2,441	2,428

Dibuat	Diperiksa

FORMULIR PENGUJIAN BERAT JENIS MAKSIMUM CAMPURAN ASPAL

No: / / / / 2022

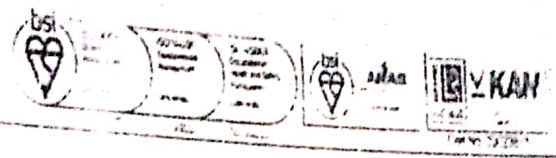
Nama : _____
 Hari/Tanggal : _____
 Jumlah Sampel : _____
 Berat Sampel : _____
 Metode Pengujian : _____

Formulir Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Aspal

Kadar Aspal (%)	Parameter	Satuan	Sampel		Rata-Rata
			1	2	
4,5	Berat agregat kering udara	gr	500,5	500,6	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2247,5	2247	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2529,6	2528,6	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2534,7	2538,2	
	GMM	gr/cm ³	2.346	2.391	
5	Berat agregat kering udara	gr	500,8	500,7	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2247,2	2246,3	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2523,4	2526,4	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2537,1	2536,4	
	GMM	gr/cm ³	2.375	2.377	
5,5	Berat agregat kering udara	gr	500,8	500,8	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2248	2243,7	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2526,8	2525,2	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2539,7	2536,6	
	GMM	gr/cm ³	2.395	2.409	
6	Berat agregat kering udara	gr	500,5	500,5	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2243,3	2248	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2516,5	2525,2	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2532,4	2537,9	
	GMM	gr/cm ³	2.368	2.377	
6,5	Berat agregat kering udara	gr	500,7	500,7	
	Berat piknometer + tutup + air	gr	2247,3	2245	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 0	gr	2520,2	2522,9	
	Berat piknometer + tutup + air + agregat 1	gr	2529,6	2528,9	
	GMM	gr/cm ³	2.293	2.310	

Dibuat	Diperiksa

Form
 Outgoing Quality Report
 Asphalt Cement



Ciwandan
 OQR/CWD/ ABS/23/0023
 DO. 022002
 30/03/2023

AC Grade 60/70
 Date of sampling 13-Mar-23 / 1.03
 Date of Testing 13-Mar-23

Test Results

Test	Unit	Method	Result	Spec
Penetration at 25 °C	0.1 mm	ASTM D5	66	60-70
Kinematic Viscosity 135 °C	cSt	ASTM D2173	415	≥ 300
Softening Point	°C	ASTM D36	48.8	≥ 48
Ductility at 25 °C	cm	ASTM D113	>150	≥ 100
Flash point Cleveland Open Cup	°C	ASTM D92	364	≥ 232
Solubility in Trichloroethylene	%wt	ASTM D2042	99.89	≥ 99.0
Specific Gravity at 25 °C		ASTM D70	1.0320	≥ 1.0
Thin Film Oven Test				
Weight Loss	%wt	ASTM D1754	0.02	≤ 0.8
Penetration after TFO	%	ASTM D1754/D5	76	≤ 54
Ductility at 25 °C after TFO	cm	ASTM D1754/D113	>150	≥ 50

Validation

Tested by

Heru Herdians

Approved by

Teguh Sudrajat

(Technical & QC Manager)

Doc No ABS.IV.a/TC-029
 Rev No 07
 Rev Date 5-Aug-21

LAMPIRAN 2

Hasil Pengujian Marshall

FORMULIR PENGUJIAN CAMPURAN ASPAL DENGAN ALAT MARSHALL

BU	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (mm)	G (mm ³)	H (gram/cm ³)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)
1			1180	1232	638,9	7,85	593,1	1,99	17,00	216,11	5,00	43,22
2			1202	1250	648	7,9	602,0	1,99	18,00	220,35	6,00	36,72
3	4,50	4,31	1197	1244	650,5	7,98	593,5	2,01	25,00	317,81	5,00	63,56
4			1180	1226	641,3	7,78	584,7	2,01	19,00	247,50	3,00	82,50
5			1192	1241	651,9	7,79	589,1	2,02	20,00	254,25	4,00	63,56
			Rata-rata									
1			168	1212	638	7,9	574	2,03	32,00	416,85	5,00	83,37
2			1158	1212	638	7,68	574	2,01	38,00	495,01	6,00	82,50
3	5,00	4,76	1168	1215	646	8,02	569	2,05	25,00	337,43	4,00	84,35
4			1125	1218	640	7,95	578	1,94	43,00	560,14	6,00	93,35
5			1112	1217	639,9	7,73	577,1	1,92	60,00	781,59	5,00	156,31
			Rata-rata									
1			1201	1238	638,2	7,76	599,8	2,00	40,00	489,67	5,00	97,93
2			1193	1226	636,5	7,51	589,5	2,02	57,00	724,62	7,00	103,51
3	5,50	5,21	1185	1225	629,4	7,5	595,6	1,99	33,00	419,52	5,00	83,90
4			1189	1231	627,1	7,96	603,9	1,96	25,00	306,04	5,00	61,20
5			1191	1228	634,9	7,65	593,1	2,00	46,00	584,78	5,00	116,95
			Rata-rata									
1			1197	1231	647,1	7,67	583,9	2,05	19,00	247,50	6,00	41,25
2			1194	1240	646	7,98	594	2,01	17,00	216,11	10,00	21,61
3	6,00	5,66	1201	1236	653,3	7,75	582,7	2,06	30,50	397,31	6,00	66,21
4			1196	1236	650	7,8	586	2,04	20,00	254,25	6,00	42,37
5			1193	1222	652,4	7,4	569,6	2,09	49,50	668,12	2,00	334,05
			Rata-rata									
								2,05	27,2	356,65	6,00	101,10

FORMULIR PENGUJIAN CAMPURAN ASPAL DENGAN ALAT MARSHALL

BU	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (mm)	G (mm ³)	H (gram/cm ³)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)
1			1199	1227	632,2	7,72	594,8	2,01	26,00	330,53	4,00	82,63
2			1197	1234	627,7	7,87	606,3	1,97	23,00	281,56	4,00	70,39
3	6,50		1187	1218	627,3	7,64	590,7	2,00	34,00	432,23	6,00	72,03
4			1184	1221	625,8	7,63	595,2	1,98	28,00	355,95	4,00	88,98
5			1191	1227	622,2	7,74	604,8	1,96	17,00	208,11	7,00	29,73
Rata-rata												
							1,99		35,6	321,67	5,00	68,75

Keterangan :

- | | | |
|--|---|---|
| <p>A = Aspal terhadap batuan (%)</p> <p>B = Aspal terhadap campuran (%)</p> <p>C = Berat benda uji kering (gram)</p> <p>D = Berat benda uji keadaan jenuh (gram)</p> <p>E = Berat benda uji dalam air (gram)</p> <p>F = Tinggi benda uji (mm)</p> <p>G = Volume benda uji (mm³)</p> | <p>H = Berat isi benda uji (gram/mm³)</p> <p>I = Gmm teoritis (gram/cm³)</p> <p>L = Void In Mix (%)</p> <p>M = Void In Mineral Agregate (%)</p> <p>N = Void Filled Asphalt (%)</p> <p>O = Pembacaan dial proving (div)</p> <p>Q = Stabilitas (kg)</p> | <p>R = Flow (mm)</p> <p>S = Marshall Quotient (kg/mm)</p> |
|--|---|---|

FORMULIR PENGUJIAN CAMPURAN ASPAL DENGAN ALAT MARSHALL

BU	A (%)	B (%)	C (gr)	D (gr)	E (gr)	F (mm)	G (mm ³)	H (gr/cm ³)	O (div)	Q (kg)	R (mm)	S (kg/mm)
1			1174	1209	630,5	7,95	578,5	2,03	82,00	1068,17	8,00	133,52
2			1188	1230	641,8	8,11	588,2	2,02	86,00	1093,28	6,00	182,21
3	Limbah 0% + Polyol 5%	4,76	1182	1216	635,4	8,07	580,6	2,04	98,00	1276,60	5,00	255,32
4			1186	1225	642,2	8,11	582,8	2,04	68,00	885,80	5,00	177,16
5			1180	1218	633,5	8,14	584,5	2,02	89,00	1159,36	6,00	193,23
			Rata-rata									
1			1181	1215	627,1	8,00	587,9	2,01	93,00	1182,27	5,00	236,45
2			1178	1213	621,1	8,08	591,9	1,99	83,00	1055,15	5,00	211,03
3	Limbah 0% + Polyol 7,5%	4,76	1185	1222	628,9	7,91	593,1	2,00	110,00	1398,39	6,00	233,06
4			1134	1170	608,9	7,26	561,1	2,02	80,00	1079,79	5,00	179,96
5			1085	1116	573,8	7,37	542,2	2,00	91,00	1328,23	5,00	265,65
			Rata-rata									
1			1191	1231	635,3	8,08	595,7	2,00	80,00	1017,01	4,00	254,25
2			1181	1219	627,6	8,05	591,4	2,00	78,00	991,58	5,00	198,32
3	Limbah 0% + Polyol 10%	4,76	1181	1221	636,1	8,01	584,9	2,02	96,00	1250,54	6,00	208,42
4			1188	1228	630,3	8,08	597,7	1,99	90,00	1144,13	6,00	190,69
5			1194	1228	627,4	8,00	600,6	1,99	91,00	1114,00	6,00	185,67
			Rata-rata									
1			1176	1224	637,0	7,84	587,0	2,00	95,00	1431,34	7,00	204,48
2			1177	1220	632,2	7,74	587,8	2,00	98,00	1476,54	6,00	246,09
3	Limbah 50% + Polyol 5%	4,76	1168	1218	636,4	7,60	581,6	2,01	85,00	1280,68	7,00	182,95
4			1185	1227	635,6	7,96	591,4	2,00	62,00	934,14	6,00	155,69
5			1126	1158	600,5	7,40	557,5	2,02	94,00	1416,28	6,00	236,05
			Rata-rata									
								2,01	86,80	1307,80	6,40	205,05

FORMULIR PENGUJIAN CAMPURAN ASPAL DENGAN ALAT MARSHALL

BU	A (%)	B	C	D	E	F	G	H	O	Q	R	S			
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(mm)	(mm ³)	(gr/cm ³)	(div)	(kg)	(mm)	(kg/mm)			
1	Limbah	50% +	Polyol	10%	4,76	1154	1195	625,7	7,74	569,3	2,03	71,00	1036,31	8,00	129,54
						1173	1209	624,1	7,39	584,9	2,01	88,00	1284,44	5,00	256,89
						1170	1207	622,3	8,15	584,7	2,00	77,00	1123,89	5,00	224,78
						1171	1209	625,2	7,84	583,8	2,01	90,00	1356,01	6,00	226,00
						1172	1209	622,9	7,97	586,1	2,00	72,00	1050,91	5,00	210,18
1	Limbah	50% +	Polyol	10%	4,76	1173	1211	622,4	7,67	588,6	1,99	66,00	839,03	5,00	167,81
						1176	1217	637,0	7,78	580,0	2,03	102,00	1328,70	6,00	221,45
						1184	1227	631,7	7,75	595,3	1,99	60,00	762,76	6,00	127,13
						1177	1218	623,3	7,77	594,7	1,98	67,00	851,74	6,00	141,96
						1173	1219	629,0	7,78	590,0	1,99	68,00	864,46	7,00	123,49
1	Limbah	100% +	Polyol	5%	4,76	1162	1199	627,4	7,69	571,6	2,03	80,00	1079,79	6,00	179,96
						1187	1221	632,2	7,57	588,8	2,02	75,00	953,44	6,00	158,91
						1174	1196	648,0	7,88	548,0	2,14	35,00	488,89	6,00	81,48
						1175	1208	627,7	7,67	581,3	-2,02	61,00	794,62	6,00	132,44
						1166	1200	627,7	7,54	572,3	2,04	81,00	1093,28	2,00	546,64
1	Limbah	100% +	Polyol	7,5%	4,76	1154	1200	633,6	7,62	566,4	2,04	87,00	1269,85	6,00	211,64
						1175	1215	638,9	7,61	576,1	2,04	90,00	1313,63	5,00	262,73
						1182	1225	645,6	7,67	579,4	2,04	86,00	1255,25	4,00	313,81
						1147	1189	625,7	7,54	563,3	2,04	75,00	1130,01	5,00	226,00
						1178	1222	644,6	7,50	577,4	2,04	96,00	1401,21	5,00	280,24
1	Limbah	100% +	Polyol	7,5%	4,76	1174	1217,3	630,7	7,67	586,6	2,00	50,00	635,63	4,00	158,91
						1169	1214,1	630,1	7,80	584,0	2,00	70,00	911,85	5,00	182,37
						1182	1226,9	633,9	7,49	593,0	1,99	65,00	826,31	7,00	118,05
						1176	1218,9	645,8	7,87	572,6	2,05	72,00	971,81	6,00	161,97
						1180	1228,1	635,8	7,64	592,3	1,99	60,00	762,76	6,00	127,13
Rata-rata															
1	Limbah	100% +	Polyol	7,5%	4,76	1174	1217,3	630,7	7,67	586,6	2,00	50,00	635,63	4,00	158,91
						1169	1214,1	630,1	7,80	584,0	2,00	70,00	911,85	5,00	182,37
						1182	1226,9	633,9	7,49	593,0	1,99	65,00	826,31	7,00	118,05
						1176	1218,9	645,8	7,87	572,6	2,05	72,00	971,81	6,00	161,97
						1180	1228,1	635,8	7,64	592,3	1,99	60,00	762,76	6,00	127,13
Rata-rata															
Rata-rata															

Keterangan :

- A = Aspal terhadap batuan (%)
- B = Aspal terhadap campuran (%)
- C = Berat benda uji kering (gram)
- D = Berat benda uji keadaan jenuh (gram)
- E = Berat benda uji dalam air (gram)
- F = Tinggi benda uji (mm)
- G = Volume benda uji (mm³)
- H = Berat isi benda uji (gram/mm³)

Dibuat	Diperiksa

LAMPIRAN 3
Hasil Pengujian Permeabilitas

FORMULIR PENGUJIAN PERMEABILITAS

KADAR	Nomor Benda Uji	Tinggi (cm)	Luas Pipa Benda Uji (cm ²)	Luas Pipa kecil (cm ²)	H1 (cm)	H2 (cm)	t (detik)	Log (H1/H2)	K
4.50%	1	7.85	93.27	24.62	40	4	117.00	1.00	0.041
	2	7.90	93.27	24.62	40	3.8	85.00	1.02	0.058
	3	7.98	93.27	24.62	40	4.2	104.00	0.98	0.046
	4	7.78	93.27	24.62	40	3.9	89.00	1.01	0.054
	5	7.69	93.27	24.62	40	3.3	92.00	1.08	0.055
5%	1	7.90	93.27	24.62	40	3.2	173.00	1.10	0.030
	2	7.69	93.27	24.62	40	3.2	120.00	1.10	0.043
	3	8.02	93.27	24.62	40	2.9	111.00	1.14	0.050
	4	7.95	93.27	24.62	40	3.2	122.00	1.10	0.043
	5	7.73	93.27	24.62	40	2.8	167.00	1.15	0.032
5.50%	1	7.76	93.27	24.62	40	3.1	253.00	1.11	0.021
	2	7.51	93.27	24.62	40	4.1	406.00	0.99	0.011
	3	7.57	93.27	24.62	40	3.2	213.00	1.10	0.024
	4	7.96	93.27	24.62	40	3.1	144.00	1.11	0.037
	5	7.65	93.27	24.62	40	3.1	245.00	1.11	0.021
6%	1	7.67	93.27	24.62	40	3.2	262.00	1.10	0.019
	2	7.98	93.27	24.62	40	2.9	155.00	1.14	0.036
	3	7.75	93.27	24.62	40	3.2	320.00	1.10	0.016
	4	7.80	93.27	24.62	40	3.2	270.00	1.10	0.019
	5	7.40	93.27	24.62	40	3.6	304.00	1.05	0.015
6.50%	1	7.72	93.27	24.62	40	3.1	280.00	1.11	0.019
	2	7.72	93.27	24.62	40	3.1	260.00	1.11	0.020
	3	7.87	93.27	24.62	40	3.1	253.00	1.07	0.020
	4	7.64	93.27	24.62	40	3.4	151.00	1.11	0.034
	5	7.63	93.27	24.62	40	3.1	173.00	1.11	0.030
6.50%	7.74	93.27	24.62	40	3.1				

FORMULIR PENGUJIAN PERMEABILITAS

Kadar Stone Crusher	Kadar Polyol	Nomor Benda Uji	Tinggi (cm)	Luas Pipa Benda Uji (cm ²)	Luas Pipa kecil (cm ²)	H1 (cm)	H2 (cm)	t (detik)	Log (H1/H2)	K	Rata-rata
0%	5%	1	7.95	93.27	24.62	40	3.8	174.00	1.02	0.028	0.035
		2	8.11	93.27	24.62	40	4	160.00	1.00	0.031	
		3	8.07	93.27	24.62	40	4.5	175.00	0.95	0.027	
		4	8.11	93.27	24.62	40	3.8	122.00	1.02	0.041	
		5	8.14	93.27	24.62	40	3.8	107.00	1.02	0.047	
	7.5%	1	8.00	93.27	24.62	40	4.4	181.00	0.96	0.026	0.018
		2	8.08	93.27	24.62	40	4.6	178.00	0.94	0.026	
		3	7.91	93.27	24.62	40	4.4	270.00	0.96	0.017	
		4	7.26	93.27	24.62	40	4.9	340.00	0.91	0.012	
		5	7.37	93.27	24.62	40	4.8	395.00	0.92	0.010	
	10%	1	8.08	93.27	24.62	40	4	306.00	1.00	0.016	0.026
		2	8.05	93.27	24.62	40	4.2	206.00	0.98	0.023	
		3	8.01	93.27	24.62	40	4.3	181.00	0.97	0.026	
		4	8.08	93.27	24.62	40	3.8	138.00	1.02	0.036	
		5	8.00	93.27	24.62	40	4	169.00	1.00	0.029	
50%	5%	1	7.84	93.27	24.62	40	3.8	213.00	1.02	0.023	0.015
		2	7.74	93.27	24.62	40	4	343.00	1.00	0.014	
		3	7.60	93.27	24.62	40	3.7	274.00	1.03	0.017	
		4	7.96	93.27	24.62	40	3.7	383.00	1.03	0.013	
		5	7.40	93.27	24.62	40	4.3	477.00	0.97	0.009	
	7.5%	1	7.74	93.27	24.62	40	4	173.00	1.00	0.027	0.021
		2	7.39	93.27	24.62	40	4	355.00	1.00	0.013	
		3	8.15	93.27	24.62	40	4.2	216.00	0.98	0.022	
		4	7.84	93.27	24.62	40	3.7	267.00	1.03	0.018	
		5	7.97	93.27	24.62	40	3.3	235.00	1.08	0.022	
	10%	1	7.67	93.27	24.62	40	4.5	182.00	0.95	0.024	0.023
		2	7.78	93.27	24.62	40	4.4	218.00	0.96	0.021	
		3	7.75	93.27	24.62	40	4.1	251.00	0.99	0.019	
		4	7.77	93.27	24.62	40	4	180.00	1.00	0.026	
		5	7.78	93.27	24.62	40	4	175.00	1.00	0.027	

FORMULIR PENGUJIAN PERMEABILITAS










100%	5%	1	7.69	93.27	24.62	40	4.8	161.00	0.92	0.027	0.021
		2	7.57	93.27	24.62	40	4.5	289.00	0.95	0.015	
		3	7.88	93.27	24.62	40	4.1	143.00	0.99	0.033	
		4	7.67	93.27	24.62	40	4.5	242.00	0.95	0.018	
		5	7.54	93.27	24.62	40	4.5	324.00	0.95	0.013	
	7.5%	1	7.62	93.27	24.62	40	4	250.00	1.00	0.019	0.014
		2	7.61	93.27	24.62	40	4.1	365.00	0.99	0.013	
		3	7.67	93.27	24.62	40	4	229.00	1.00	0.020	
		4	7.54	93.27	24.62	40	3.9	500.00	1.01	0.009	
		5	7.50	93.27	24.62	40	4	467.00	1.00	0.010	
	10%	1	7.67	93.27	24.62	40	4.5	196.00	0.95	0.023	0.020
		2	7.80	93.27	24.62	40	4.4	170.00	0.96	0.027	
		3	7.49	93.27	24.62	40	4.5	345.00	0.95	0.013	
		4	7.85	93.27	24.62	40	4	188.00	1.00	0.025	
		5	7.64	93.27	24.62	40	4.4	305.00	0.96	0.015	












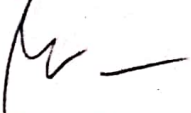
Dibuat	Diperiksa

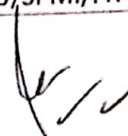
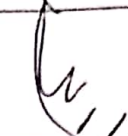

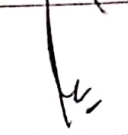
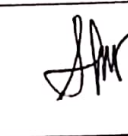

Program Studi Teknik Sipil
 Universitas Pradita
 Scientia Business Park Tower 1, Blok 0/1, Jl. Boulevard Gading Serpong, Kelapa Dua
 Tangerang, Banten 15810

FORMULIR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

 Nama : Riska Wulandari
 NIM : 1810107009
 Bentuk Tugas Akhir : (~~skripsi/tugas akhir/publikasi/karya akhir/proyek akhir~~) *coret
 yang tidak perlu
 Peminatan : Manajemen Rekayasa Konstruksi
 Pembimbing 1 : Dr.Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T.
 Pembimbing 2 : Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M. Eng
 Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Pemanfaatan *Crusher Dust* dan Penambahan
 Zat *Polyurethane* pada Campuran Beraspal Berpori

No	Tanggal	Catatan Bimbingan	Paraf Dosen
1.	17-02-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng.</u> Pengajuan judul tugas akhir	2 
2.	17-02-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Pengajuan Judul Tugas Akhir	1 
3.	24-02-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Pembahasan outline dan judul skripsi	1 
4.	24-02-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Pembahasan outline dan judul skripsi	2 
5.	17-03-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan proposal BAB 1 Bimbingan proposal BAB 2	2 
6.	20-03-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Menyerahkan revisi proposal BAB 1 & 2	2 
7.	27-03-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Menyerahkan revisi proposal BAB 1 & 2 Bimbingan proposal BAB 3	2 
8.	30-03-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Menyerahkan revisi BAB 3	2 
9.	03-04-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Menyerahkan revisi BAB 3	2 

10.	05-04-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan keseluruhan proposal BAB 1,2, dan 3 Penentuan jumlah benda uji penelitian	1	
11.	05-04-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan keseluruhan proposal BAB 1,2, dan 3	2	
12.	17-04-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan presentasi persiapan seminar proposal tugas akhir	2	
13.	09-05-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan revisi BAB 1 & 2 setelah seminar proposal	2	
14.	10-05-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan revisi BAB 3 setelah seminar proposal Mencari peraturan pengujian Marshall terbaru	2	
15.	11-05-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan BAB 4	2	
16.	12-05-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan BAB 4	2	
17.	17-05-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan data pengujian penelitian	1	
18.	15-05-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan BAB 4	2	
19.	27-07-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan data pengujian penelitian Bimbingan BAB 4	1	
20.	28-07-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan data pengujian penelitian Bimbingan BAB 4	1	
21.	02-08-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan BAB 4	1	

22.	03-08-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan BAB 4	1	
23.	04-08-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan BAB 4	1	
24	05-08-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan BAB 4	1	
25	06-08-23	<u>Dr. Ir Amelia Makmur, S.T., M.T</u> Bimbingan BAB 4	1	
	10-08-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan BAB 1, 2, 3, dan 4	2	
	18-08-23	<u>Bella Koes Paulina Cantik, S.T., M.Eng</u> Bimbingan BAB 1, 2, 3, dan 4	2	

Tangerang 18, Agustus, 2023

Disetujui Untuk Sidang Tugas Akhir

Pembimbing I



Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T.

Pembimbing II



Bella Koes Paulina Cantik. S.T., M. Eng.