

**ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH
TERHADAP GENANGAN AIR LAUT**

SKRIPSI

**Diajukan Oleh :
Bimantara Arya Nugraha
NIM. 2011102443026**



**PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR
2024**

HALAMAN JUDUL

ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH TERHADAP GENANGAN AIR LAUT

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

Diajukan Oleh :
Bimantara Arya Nugraha
NIM. 2011102443026



**PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH
TERHADAP GENANGAN AIR LAUT**

SKRIPSI

Diajukan Oleh :

Bimantara Arya Nugraha

NIM. 2011102443026

Disetujui Untuk Diujikan

Pada Tanggal : 08 Januari 2024

Pembimbing



Dr. Eng., Rusandi Noor., S.T., M.T

NIDN. 1101049101

Mengetahui

Koordinator Skripsi



Dr. Eng., Rusandi Noor., S.T., M.T

NIDN. 1101049101

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH TERHADAP GENANGAN AIR LAUT

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

Diajukan Oleh :
Bimantara Arya Nugraha
NIM. 2011102443026

Diseminarkan dan Diujikan
Pada Tanggal : 16 Januari 2024

Penguji I	Penguji II
 <u>Ulwiyah Wahdah Mufassirin Liana, S.T., M.T</u> NIDN. 112402901	 <u>Dr. Eng., Rusandi Noor., S.T., M.T</u> NIDN. 1101049101

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Eng., Rusandi Noor., S.T., M.T
NIDN. 1101049101

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Bimantara Arya Nugraha

NIM : 2011102443026

Program studi : Teknik Sipil

Judul penelitian : ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH
TERHADAP GENANGAN AIR LAUT

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan hasil plagiasi/falsifikasi/fabrikasi baik Sebagian atau seluruhnya.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam tugas skripsi saya ini, atau klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Samarinda, 16 Januari 2024

buat pernyataan



Bimantara Arya Nugraha

2011102443026

ABSTRAK

Penelitian ini menginvestigasi volumetrik karakteristik campuran aspal AC-WC dengan penambahan *filler fly ash* menggunakan metode replikasi penetrasi lokal air laut. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi pengaruh *filler fly ash* terhadap ketahanan campuran aspal terhadap penetrasi air laut. Dalam penelitian ini dicoba mencampurkan campuran aspal AC-WC dengan bahan tambah *filler fly ash* diharapkan bahwa dengan menambahkan limbah *fly ash* ke dalam campuran aspal, permukaan perkerasan jalan dapat menjadi lebih awet, mampu menghindari retak akibat lendutan berlebihan dan kelelahan material, meningkatkan cengkeraman saat pengereman, dan mengurangi kebisingan akibat gesekan antara ban roda kendaraan dengan permukaan jalan. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan sampel dan menggunakan variasi lama genangan berbeda yang dimana hasil yang di dapat dari semua sampel ialah beberapa pengujian marshall ada yang tidak memenuhi standar nilai ketentuan dikarenakan variasi genangan yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan aspal karet pada perkerasan aspal AC-WC dapat memberikan kinerja yang lebih baik di lingkungan pesisir.

ABSTRACT

This research investigates the volumetric characteristics of AC-WC asphalt mixtures with the addition of fly ash filler using the local seawater penetration replication method. The research aims to evaluate the influence of fly ash filler on the resistance of asphalt mixtures to seawater penetration. In this study, an attempt was made to mix AC-WC asphalt mixtures with the addition of fly ash filler; with the expectation that by adding fly ash waste to the asphalt mixture, the road surface could become more durable, capable of avoiding cracks due to excessive deflection and material fatigue, improving grip during braking, and reducing noise due to friction between the vehicle's wheel and the road surface. The study involved the production of samples and the use of different soaking durations, where the results obtained from all samples showed that some Marshall tests did not meet the standard specified values due to the different soaking variations. The test results indicate that the use of rubber asphalt in AC-WC asphalt pavements can provide better performance in coastal environments.

PRAKATA



Dengan menyebut nama Allah SWT, dengan rahmat, hidayah dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa pula shalawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat islam dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang dan dari zaman kebodohan menuju zaman yang berilmu saat ini.

Skripsi ini berjudul “ ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN *FILLER FLY ASH* TERHADAP GENANGAN AIR LAUT”. skripsi ini penulis susun dalam rangka memenuhi syarat kelulusan di program studi S1 Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini dan menyelesaikan Laporan Skripsi. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Bambang Setiaji, M.Si, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.
2. Bapak Prof. Ir. Sarjito, M.T, Ph.D, IPM, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.
3. Bapak Dr. Eng. Rusandi Noor, S.T, M.T, selaku ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.
4. Bapak Dr. Eng. Rusandi Noor, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing selama penulisan skripsi saya yang telah banyak memberikan saran, masukan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
5. Seluruh jajaran dosen Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.
6. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu mendukung dan mendoakan kelancaran dalam penulisan skripsi.
7. Para teman dan sahabat khususnya mahasiswa/mahasiswi Program Studi S1 Teknik Sipil Angkatan 2020 Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.

Samarinda, 16 Januari 2024
Yang membuat pernyataan

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arya Nugraha'.

Bimantara Arya Nugraha
2011102443026

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II METODE PENELITIAN	4
2.1 Bagan Alir Penelitian	4
2.2 Prosedur Penelitian.....	5
2.2.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	5
2.2.2 Alat	5
2.2.3 Bahan.....	5
2.2.4 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Benda Uji.....	6
2.2.5 Prosedur Analisa.....	6
2.2.6 Metode Penetrasi Air Laut.....	7
2.2.7 Jumlah Benda Uji	7
2.2.8 Metode Marshall.....	7
2.2.9 <i>Time Schedule</i> Penelitian.....	8
BAB III PEMBAHASAN	11
3.1 Hasil dan Analisis Pengujian Material	11
3.1.1 Agregat Kasar.....	11
3.1.2 Agregat Halus.....	12
3.1.3 Pengujian Aspal.....	12
3.1.4 Pengujian <i>Filler Fly Ash</i>	14
3.1.5 Pengujian Air Laut	14
3.2 Perhitungan <i>Mix Design</i>	15
3.2.1 Kadar Aspal.....	17
3.2.2 Perhitungan Spesifikasi Agregat Lolos Saringan (%).....	18
3.3 Analisis Pengujian <i>Marshall</i>	19
3.3.1 Hasil Pengujian <i>Marshall Filler Fly Ash</i>	20
3.3.2 Hasil Pengujian <i>Marshall Filler</i> Normal/Abu batu.....	26
3.3.3 Hasil Pengujian Penetrasi (Uji Belah).....	34
BAB IV PENUTUP	38
4.1 Kesimpulan.....	38
4.2 Implikasi.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....	39

LAMPIRAN 41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Alat	5
Tabel 2. 2 Bahan	5
Tabel 2. 3 Jumlah Sampel dan Waktu Penetrasi	8
Tabel 2. 4 Spesifikasi umum saringan Bina Marga 2018 revisi 2 perkerasan jalan	8
Tabel 2. 5 <i>Time Schedule</i> Penelitian	9
Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	11
Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	12
Tabel 3. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal	13
Tabel 3. 4 Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	14
Tabel 3. 5 Saringan Lolos	16
Tabel 3. 6 Kadar Aspal	17
Tabel 3. 7 Mix Design Laston AC-WC Dengan Kadar Aspal ,5%	18
Tabel 3. 8 Angka Koreksi <i>Filler Fly Ash</i>	19
Tabel 3. 9 Angka Koreksi <i>Filler</i> Normal/Abu batu	19
Tabel 3. 10 Data Hasil Perhitungan <i>Filler Fly Ash</i>	20
Tabel 3. 11 Data Hasil Perhitungan <i>Filler</i> Normal/abu batu	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Pengambilan Air Laut	2
Gambar 2. 1 Contoh Pemasangan PVC pada sampel	7
Gambar 2.2 Contoh Uji Penetrasi pada sampel aspal	7
Gambar 3. 1 Pengujian Kadar Garam Menggunakan Alat Hidrometer	15
Gambar 3. 2 Pengujin Kadar pH air Laut	15
Gambar 3. 3 Grafik Stabilitas	21
Gambar 3. 4 Grafik Flow	22
Gambar 3. 5 Grafik MQ (Marshall Quotient)	23
Gambar 3. 6 Grafik <i>Void In Mix</i> (VIM)	23
Gambar 3. 7 Grafik <i>Void Filled With bitumen %</i> (VFB)	24
Gambar 3. 8 Grafik Void Mineral Aggregate (VMA)	25
Gambar 3. 9 Grafik <i>Density</i>	26
Gambar 3. 10 Grafik Stabilitas	28
Gambar 3. 11 Grafik Flow	29
Gambar 3. 12 Grafik MQ (Marshall Quotient)	30
Gambar 3. 13 Grafik <i>Void In Mix</i> (VIM)	30
Gambar 3. 14 Grafik <i>Void Filled With bitumen %</i> (VFB)	31
Gambar 3. 15 Grafik Void Mineral Aggregate (VMA)	32
Gambar 3. 16 Grafik <i>Density</i>	33
Gambar 3. 17 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut	34
Gambar 3. 18 Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji Belah) <i>Filler Fly Ash</i>	35
Gambar 3. 19 Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji Belah) <i>Filler Normal/Abu Batu</i>	35
Gambar 3. 20 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut	36
Gambar 3. 21 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji belah) <i>Filler Fly Ash</i>	36
Gambar 3. 22 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji belah) <i>Filler Normal/Abu Batu</i>	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.....	37
Lampiran 2.....	38
Lampiran 3.....	42
Lampiran 4.....	43
Lampiran 5.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi, *volume* lalu lintas di jalan-jalan terus meningkat. Beban jalan yang semakin berat mengakibatkan kerusakan berbagai elemen infrastruktur jalan, termasuk perkerasan aspal. Aspal adalah salah satu bahan konstruksi utama dalam industri jalan dan jembatan. Kinerja jalan yang dibangun dengan aspal sangat bergantung pada sifat-sifat mekanis dan durabilitasnya. Salah satu tantangan utama dalam menjaga durabilitas aspal adalah eksposur terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, terutama di daerah-daerah yang terpapar genangan air laut.

Air laut dapat mempengaruhi struktur aspal dan campuran aspal secara signifikan karena adanya reaksi kimia antara air asin dan komponen-komponen aspal. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi dampak penetrasi air laut terhadap durabilitas aspal dan mencari solusi yang efektif untuk mengatasi masalah ini.

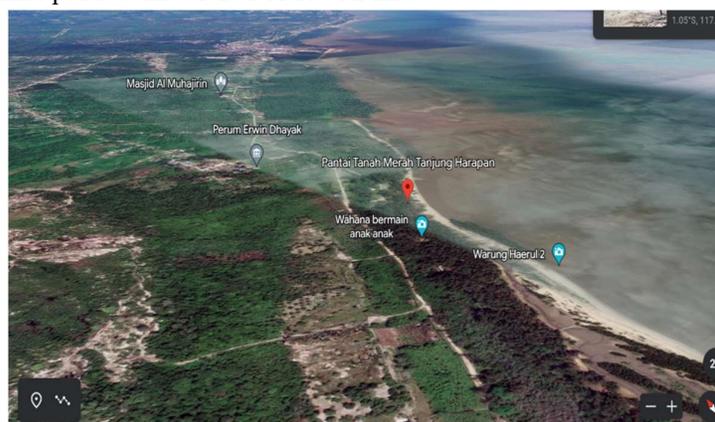
Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan *filler fly ash* dalam campuran aspal dapat meningkatkan kinerja campuran aspal, terutama dalam hal stabilitas, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap retakan. *Fly ash* adalah limbah industri yang umumnya tersedia dan dapat digunakan sebagai *filler* yang ramah lingkungan dalam campuran aspal. Menggunakan *filler* yang memiliki sifat *pozzolan* adalah pilihan yang sangat menguntungkan untuk meningkatkan stabilitas aspal AC-WC. Fly ash dari batubara Kelas C, sebagai contoh, merupakan bahan non-organik dan non-plastik yang dapat berperan sebagai filler dalam campuran aspal AC-WC. Ketika dicampur dengan aspal, filler ini berubah menjadi suspensi dan membentuk matrik yang bersama dengan aspal, mengikat semua bahan agregat dalam campuran aspal. *Fly ash* ini memiliki karakteristik *pozzolanic* dan kemampuan untuk mengeras dan meningkatkan kekuatan ketika terjadi reaksi dengan air, sehingga bersifat *self-cementing*. Namun, dampak dari penggunaan *fly ash* sebagai *filler* dalam menghadapi genangan air asin masih belum sepenuhnya dipahami.

Berdasarkan penelitian Suaryana (2012,2015); dapat didefinisikan durabilitas sebagai kemampuan material aspal pada perkerasan yang dapat bertahan dari berbagai macam kondisi lingkungan saat kondisi layan (*traffic*). Berdasarkan hasil penelitian Hicks et.al (1991), kerusakan aspal AC-WC yang disebabkan oleh genangan air dapat terjadi pada tahun ke-3 hingga ke-4 pasca konstruksi. Karakteristik kerusakan ini berupa pembentukan lapisan yang dapat melepas pengikat aspal dari permukaan agregat. Selain itu, penelitian dari Kringos et.al (2007) menemukan bahwa gerusan air dapat menambah kerusakan aspal. Setadji dkk. (2017), mensimulasikan kerusakan kinerja perkerasan aspal pada lingkungan pasang surut, dan menunjukkan bahwa larutan garam memiliki permeabilitas yang tinggi dibandingkan air tawar, sehingga dapat meresap ke dalam beton aspal dan berdampak buruk pada durabilitasnya. Sesuai dengan lingkungan yang asin dan lembab Zhou dkk. (2019), merendam beton aspal dalam larutan garam, dan melakukan siklus kering-basah juga beku-cair untuk mempercepat pengikisan beton aspal dan memperoleh efek buruk dari lingkungan yang asin dan lembab pada kinerja beton aspal.

Wang dkk. (2021), mengungkapkan mekanisme interaksi garam terhadap durabilitas beton aspal, selain itu ditemukan bahwa larutan garam klorin akan mengurangi kemampuan beton aspal untuk menahan deformasi elastis sesaat dan deformasi permanen melalui analisis viskoelastik. Xu dkk. (2016), mengevaluasi durabilitas beton aspal berbasis garam dengan aditif anti acing dan menemukan bahwa aditif tersebut memiliki efek yang merugikan terhadap stabilitas, dan retak. Oleh karena itu, perkerasan beton aspal di daerah pesisir sering mengalami penurunan daya tahan dan masa layan (Zhang dkk, 2020; Guo dkk, 2019; Wang dkk, 2021; Zhang dkk. 2021; Ouming dkk, 2020). Kemudian Pan dkk. (2008), menemukan bahwa reaksi emulsifikasi aspal terjadi ketika aspal direndam dalam cairan sehingga penggunaan beton aspal pada daerah bergaram tinggi harus menggunakan aspal dengan viskositas tinggi dan agregat dengan kekerasan tinggi.

Selanjutnya, aplikasi abu terbang (*fly ash*) dalam campuran aspal belum banyak diteliti. Terdapat beberapa penelitian menunjukkan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* dalam campuran aspal karena karakter kimianya dapat meningkatkan daya rekat antara aspal dan agregat. SiO₂ dan Al₂O₃ merupakan komponen kimia utama penyusun *fly ash* (Ren dkk. 2019; Rutkowska et.al 2018). Studi yang dilakukan oleh Choi dkk (2020) juga membuktikan *fly ash* dapat meningkatkan performa dari aspal konvensional. Penelitian yang dilakukan oleh Mistry dkk (2016), menemukan tingkat stabilitas yang tinggi dengan kadar optimum aspal yang kecil dengan 4% *fly ash* sebagai campuran *filler* yang dibandingkan dengan campuran aspal normal. Eksperimen tersebut juga menemukan *fly ash* memberikan kekuatan yang tinggi dibandingkan aspal konvensional.

Untuk lokasi pengambilan sampel air laut adalah di Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, tepatnya adalah di Pantai Tanah Merah Tanjung Harapan. Lokasi pengambilan bisa dilihat pada **Gambar 1. 1** di bawah ini :



Gambar 1. 2 Lokasi Pengambilan Air Laut

(Sumber : Google Maps, 2023)

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dampak penggunaan *filler fly ash* dalam campuran aspal AC-WC terhadap durabilitasnya dalam lingkungan yang mungkin memiliki paparan air laut. *Filler fly ash*, yang berasal dari limbah industri, sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal untuk meningkatkan kualitasnya. Namun, penting untuk memahami bagaimana *filler* ini berperilaku dalam situasi lingkungan yang mungkin memiliki aspek kelembaban dan korosi yang signifikan, seperti daerah yang berdekatan dengan pantai.

Penelitian ini juga akan mengeksplorasi metode replikasi penetrasi lokal air laut sebagai alat untuk menguji sejauh mana *filler fly ash* mempengaruhi durabilitas aspal AC-WC dalam kondisi simulasi yang realistis. Hal ini penting untuk menentukan apakah metode ini dapat memberikan gambaran yang akurat tentang bagaimana aspal tersebut akan berkinerja di lapangan di bawah paparan lingkungan yang sesungguhnya. Secara sederhana peneliti menyusun pertanyaan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Berapa nilai karakteristik *Marshall* jika menggunakan variasi *filler fly ash*?
2. Apakah penggunaan *filler fly ash* dapat meningkatkan nilai karakteristik *Marshall* pada lapisan AC-WC?
3. Bagaimana metode replikasi penetrasi lokal air laut dapat digunakan untuk menguji dan memahami interaksi antara campuran aspal yang diperkuat dengan *filler fly ash* dengan lingkungan air laut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sangat penting dalam konteks pengembangan dan pemeliharaan

infrastruktur jalan yang berkelanjutan. Beberapa tujuan kunci yang ingin dicapai dalam penelitian ini meliputi:

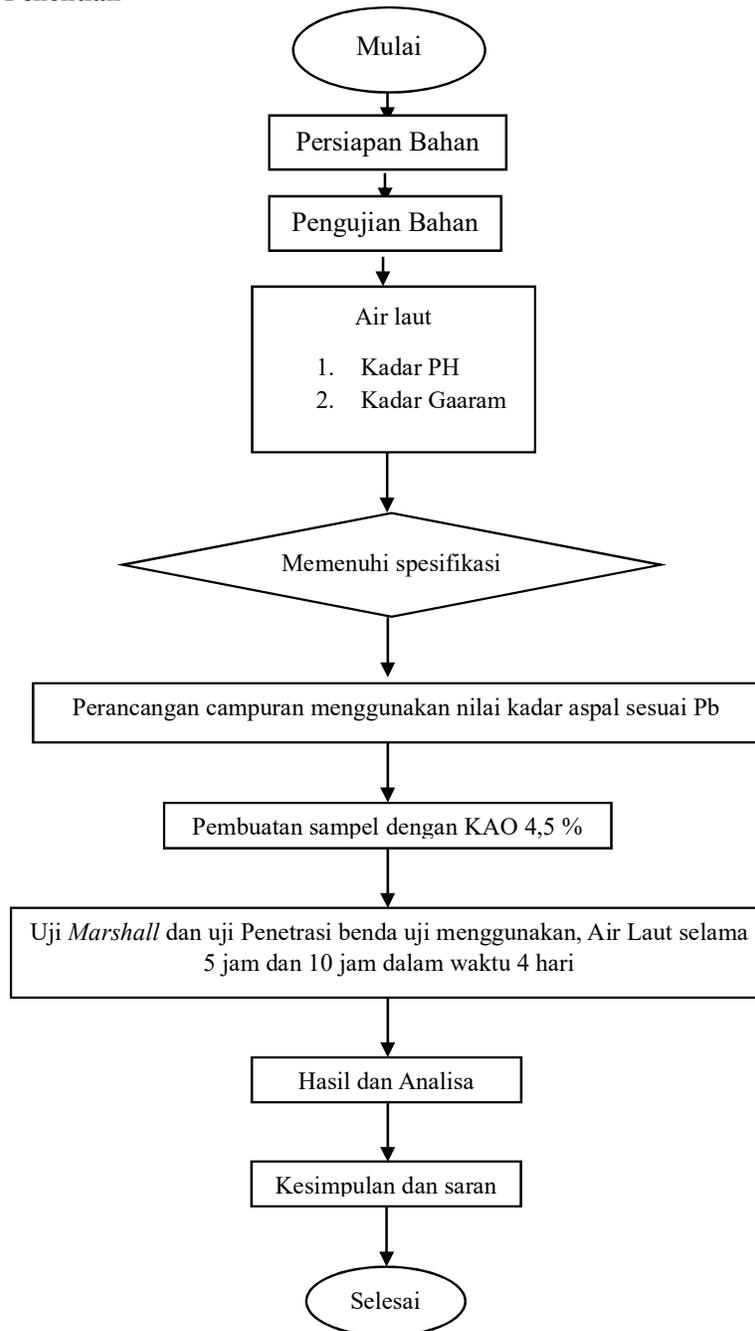
1. Untuk menganalisa nilai karakteristik Marshall jika menggunakan variasi *filler fly ash*?
2. Untuk menganalisa penggunaan *filler fly ash* dapat meningkatkan nilai karakteristik *Marshall* pada lapisan AC-WC?
3. Untuk menganalisa metode replikasi penetrasi lokal air laut dapat digunakan untuk menguji dan memahami interaksi antara campuran aspal yang diperkuat dengan *filler fly ash* dengan lingkungan air laut?

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat besar, termasuk meningkatkan durabilitas infrastruktur jalan, validasi metode pengujian lingkungan, mendukung keberlanjutan lingkungan, menghemat sumber daya, memberikan panduan praktis untuk penggunaan bahan tambahan yang efisien dalam konstruksi jalan, serta berkontribusi pada pengetahuan ilmiah dalam teknik sipil. Dengan menyelidiki dampak *filler fly ash* dalam campuran aspal AC-WC di bawah kondisi penetrasi air laut lokal, penelitian ini tidak hanya memperpanjang umur jalan, mengurangi biaya perawatan, dan meningkatkan keamanan, tetapi juga meningkatkan praktik pengujian lingkungan yang lebih akurat dan mendorong pendekatan konstruksi yang ramah lingkungan, akhirnya bermanfaat bagi pembangunan infrastruktur dan pelestarian lingkungan.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bagan Alir Penelitian



2.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah serangkaian langkah atau tahapan yang harus diikuti oleh seorang peneliti dalam rangka menjalankan suatu penelitian. Tujuan dari prosedur penelitian adalah untuk memastikan bahwa penelitian tersebut dilakukan dengan cara yang sistematis, terorganisir, dan dapat diandalkan sehingga hasilnya dapat dianggap sah dan relevan. Berikut adalah prosedur penelitian yang bisa diikuti dibawah ini.

2.2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah menggunakan alat yang dimiliki oleh laboratorium fakultas sains dan teknologi jurusan S1 Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, sedangkan untuk bahan agregat kasar (batu palu) dibeli di toko bahan material. Selanjutnya untuk bahan tambahan *filler* menggunakan fly ash dibeli pada toko *online shop*. Aspal yang digunakan diperoleh dari Arka Jaya, Samarinda, Kalimantan Timur. Semua alat dan bahan disiapkan dan dicek kondisinya sebelum melakukan penelitian di laboratorium.

2.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada **Tabel 2. 1** sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Alat

1	Timbangan	16	Saringan atau ayakan
2	Wajan	17	Timbangan air
3	Kompore Gas LPG	18	Dongkrak
4	Gas LPG	19	Kuas
5	Spatula	20	Spidol
6	Oven	21	Gunting
7	Thermometer	22	Mistar
8	Ceret Alumunium	23	Jangka sorong
9	Alat penumbuk dan alas	24	Pipa PVC
10	Napan	25	Hidrometer
11	<i>Waterbath</i>	26	Sarung tangan
12	Kertas Minyak	27	Kain lap
13	Cetakan benda uji (<i>Moll</i>)	28	Piknometer
14	<i>Alat Marshall</i>	29	Besi Rojokan
15	<i>Stopwatch</i>		

2.2.3 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada **Tabel 2. 2** sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Bahan

1	Aspal Pen 60/70
2	Agregat Kasar (Batu Palu)
3	<i>Fly Ash</i>
4	Air Laut

2.2.4 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Benda Uji

Prosedur penelitian adalah langkah-langkah yang harus diikuti secara sistematis untuk menjalankan penelitian. Berikut adalah prosedur penelitian yang bisa di ikuti di bawah ini:

1. Mempersiapkan semua bahan untuk pembuatan sampel seperti aspal, agregat kasar (batu palu), agregat halus (batu palu), fly ash sebagai bahan tambah pengganti filler.
2. Mempersiapkan semua peralatan untuk pembuatan sampel uji yang dibutuhkan di laboratorium.
3. Panaskan aspal menggunakan kompor gas LPG.
4. Pastikan suhu aspal mencapai 1100 C sebelum dicampur dengan Agregat (batu palu) dan *filler (fly ash)*. Memanaskan agregat sambil diaduk-aduk sampai suhu mencapai 1200 C.
5. Selanjutnya semua bahan mencapai temperatur panas yang sudah ditentukan, kemudian dilakukan pencampuran antara aspal dengan agregat yang telah dipanaskan dengan suhu tertentu (1200C). kemudian semua bahan diaduk-aduk sampai tercampur merata. Suhu maksimal pada saat pencampuran bahan ditetapkan sekitar 1600 C.
6. Siapkan cetakan sampel (*mould*) lengkap dengan alas cetakan yang telah diolesi minyak pelumas agar aspal tidak melekat saat dibuka dari cetakan. Jangan lupa untuk menyiapkan kertas minyak baik diatas sampel dan dibawah sampel sebagai alas sampel agar tidak melekat saat penumbukan sampel aspal.
7. Kemudian masukkan semua bahan yang sudah dicampurkan secara merata pada suhu maksimal yang telah ditentukan (1600 C) kedalam cetakan sembari dirojok-rojok menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebelumnya. Rojokkan menggunakan spatula ini dilakukan agar sampel merata didalam cetakan dengan melakukan rojokkan dibagian pinggir dan tengah sampel sebanyak 10 kali.
8. Selanjutnya dilakukan pemadatan dengan melakukan penumbukan sampel aspal sebanyak 75 kali bolak-balik.
9. Setelah dilakukan penumbukan sampel aspal, selanjutnya lepaskan sampel tersebut dari cetakan dengan menggunakan dongkrak dengan hati-hati dan buka semua kertas minyak yang melekat pada sampel.
10. Memberikan tanda pengenal agar dapat membedakan antara sampel satu dengan yang lainnya menggunakan spidol.
11. Sampel kemudian didiamkan dan di dinginkan sampai agak mengeras, kemudian benda uji ditimbang untuk mendapatkan nilai berat sampel kering.
12. Selanjutnya sampel aspal direndam menggunakan air asin dengan variasi waktu 5, dan 10 jam dalam waktu 5 hari.
13. Setelah sampel aspal direndam selama 5, dan 10 jam dalam waktu 5 hari. selanjutnya sampel dikeluarkan dari bak perendaman lalu dikeringkan menggunakan kain lap hingga sampel aspal dalam keadaan SSD (*saturated surface dry*) atau dalam keadaan jenuh kering permukaan.
14. Sampel aspal selanjutnya ditimbang agar mendapatkan nilai berat sampel aspal dalam keadaan SSD (*saturated surface dry*).
15. Selanjutnya sampel aspal ditimbang didalam air untuk mendapatkan nilai berat sampel aspal dalam air.
16. Setelah itu dilakukan pengujian dengan alat *marshall* pada masing-masing sampel aspal yang telah dibuat.

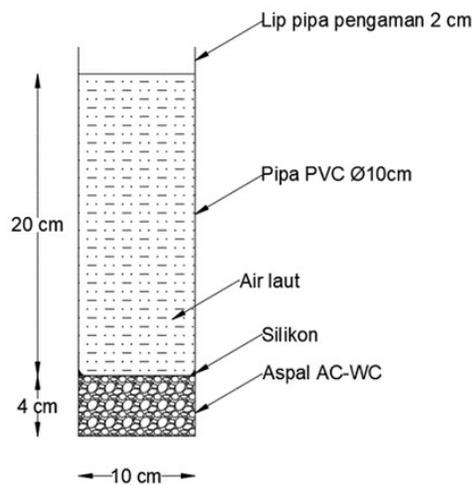
2.2.5 Prosedur Analisa

Penelitian ini akan mengkaji pengaruh kualitas campuran *fly ash* sebagai bahan pengganti *filler* yang telah penetrasikan dengan air laut pada pengujian *Marshall* yang meliputi massa jenis density (kepadatan), VIM, VMA, kelelahan, stabilitas, dan MQ (*Marshall Quotient*), dan pengujian penetasi air laut (uji belah).

2.2.6 Metode Penetrasi Air Laut

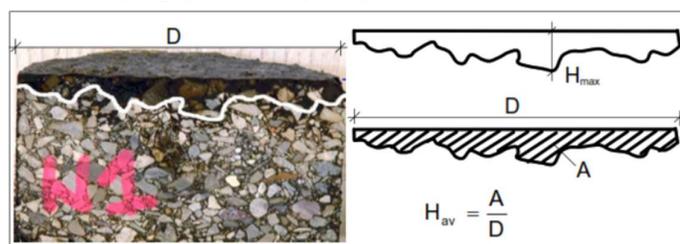
Untuk mengevaluasi efek air laut pada material aspal AC-WC, metodologi yang sesuai telah diadopsi dari penelitian Giuliani dkk, (2006). Untuk merealisasikan penetrasi air laut, pada spesimen berbentuk silinder digunakan cincin penahan PVC diameter yang sama dengan spesimen (100 mm), ditutup rapat dengan silikon pada permukaannya specimen, terlihat pada Gambar 2.1. Penelitian ini

mengadopsi tinggi minimum genangan air laut yang terjadi Banjir Berlangsung selama 4 hari dari tanggal 22 januari sampai 25 januari 2023 dengan tinggi air +/- 20-40 cm dengan lama durasi banjir selama 5 jam, pada Kota Pangkalpinang (BNPB). Dua interval waktu yang berbeda telah dipertimbangkan untuk mendapatkan karakteristik ekstrem pada durabilitas aspal AC-WC. (5 jam dan 10 jam), terlihat pada Tabel 2.3. Nilai-nilai ini dipilih dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti tingginya genangan air laut di jalan perkerasan, yaitu kecepatan penetrasi air laut. Investigasi visual terhadap ketahanan aspal AC-WC berdasarkan kemungkinan perubahan warna aspal dan pelepasan agregat. Selanjutnya semua spesimen akan dipotong dan dianalisis untuk mengevaluasi seberapa dalam penetrasi air laut yang telah terjadi. Pengukuran ini telah dilakukan pada gambar spesimen yang dipotong (potongan akan diambil selalu dengan jarak yang sama). Profil penetrasi air laut telah direkonstruksi dan kemudian diketahui kedalaman penetrasi rata-rata H_{av} masing-masing benda uji disimpulkan dengan menghitung luas bagian yang terkena penetrasi dan membaginya dengan diameter spesimen itu sendiri. Kemudian kedalaman penetrasi maksimum lokal H_{max} milik telah diukur untuk setiap specimen.



Gambar 2.1 Contoh Pemasangan PVC pada sampel

Hasil yang didapatkan pada pengujian ini seperti **gambar 2.2** dibawah ini :



Gambar 2.2 Contoh Uji Penetrasi pada sampel aspal

2.2.7 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji yang dibuat dalam penelitian kali ini adalah 12 buah sampel, yang terdiri dari 3 benda uji sampel aspal menggunakan *filler fly ash* 100% dalam waktu 5 jam selama 4 hari, 3 benda uji sampel aspal menggunakan *filler fly ash* 100% dalam waktu 10 jam selama 4 hari, 3 benda uji sampel aspal normal/abu batu dalam waktu 5 jam selama 4 hari, dan 3 benda uji sampel aspal normal/normal abu batu dalam waktu 10 jam selama 4 hari. Pembuatan jumlah sampel dapat dilihat pada **Tabel 2.3** :

Tabel 2.3 Jumlah benda uji

Normal/Abu Batu	Pengganti <i>filler (fly ash)</i>	Waktu penetrasi
3	3	5 jam, selama 4 hari
3	3	10 jam, selama 4 hari

2.2.8 Metode Marshall

Metode Marshall dengan pendekatan kepadatan mutlak merupakan salah satu strategi dalam perancangan campuran aspal AC-WC. Pendekatan *Marshall* ini hanya berlaku untuk campuran aspal beton panas yang digunakan pada permukaan jalan, dengan menggunakan jenis aspal beton penetrasi. Dalam proses perencanaan menggunakan metode *Marshall*, nilai stabilitas dan aliran akan ditentukan untuk memastikan bahwa presentasi nilai kadar aspal memenuhi persyaratan dalam campuran aspal beton tersebut. Pembuatan benda uji pada uji coba *Marshall* dibedakan menjadi tiga jenis percobaan, termasuk pemeriksaan dan pengujian yang sesuai Mix Desain Aspal

Formula Campuran Kerja (*Job Mix Formula*) merupakan formula yang digunakan pembuatan campuran aspal. Formulasnya harus sesuai dan memenuhi persyaratan. Proses pembuatan melalui beberapa tahapan yaitu perancangan formula kerja, kemudian pengujian pencampuran di bagian pelapisan, dan pengujian penghamparan dan pemadatan di lapangan.

1. Analisa saringan bina marga 2018 revisi 2 perkerasan jalan

Dalam rangka pelaksanaan kegiatan pekerjaan konstruksi jalan yang berkualitas perlu dilakukan penyesuaian terhadap Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang telah direvisi perihal perkerasan jalan. Dapat dilihat pada tabel 2.4 tentang Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi umum saringan Bina Marga 2018 revisi 2 perkerasan jalan

Saringan No. (Inch)	Bukaan (mm)	Spesifikasi Agregat Lolos Saringan %			% Agregat Lolos dan Tertahan		Berat Agregat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan Total	Tertahan Tiap Saringan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100.00	0.00	0.00	0	0
1/2"	12.5	90	100	95.00	5.00	5.00	57	57
3/8"	9.5	77	90	83.50	16.50	11.50	131	189
No.4"	4.75	53	69	61.00	39.00	22.50	257	447
No.8"	2.36	33	53	43.00	57.00	18.00	205	653
No.16"	1.18	21	40	30.50	69.50	12.50	143	796
No.30"	0.600	14	30	22.00	78.00	8.50	97	894
No.50"	0.300	9	22	15.50	84.50	6.50	74	968
No.100"	0.150	6	15	10.50	89.50	5.00	57	1026
No.200"	0.075	4	4	6.00	94.00	6.50	74	1100
PAN	0	0	0	0.00	100.00	4.00	45	1146

1146

A. Nilai Konstanta 0,5

CA = 57 (agregat tertahan di saringan No. 8)

FA = 39 (agregat tertahan saringan No. 8 – saringan No. 200)

Filler = 4 (agregat lolos saringan No. 200)

Konstanta = 0,05

Pb = 0.035 (%CA) + 0.045(%FA) + 0.18 (%Filler) + 0.05

= 0.035 (57) + 0.045 (39) + 0.18 (4) + 0.05

$= 4,520 \%$
Pb dibulatkan $= 4,5 \%$

Keterangan :

CA = *Coarse Aggregate*

FA = *Fine Aggregate*

Filler = *Filler*

Konstanta = $0,05 - 1$

Pb = Kadar Aspal Rencana

B. Perhitungan Kadar Berat Aspal

Berat benda = 1200 gr

uji

Berat Aspal = kadar aspal (%) x Berat benda uji
 $= 4,5 \% \times 1200$

C. Perhitungan berat kadar aspal

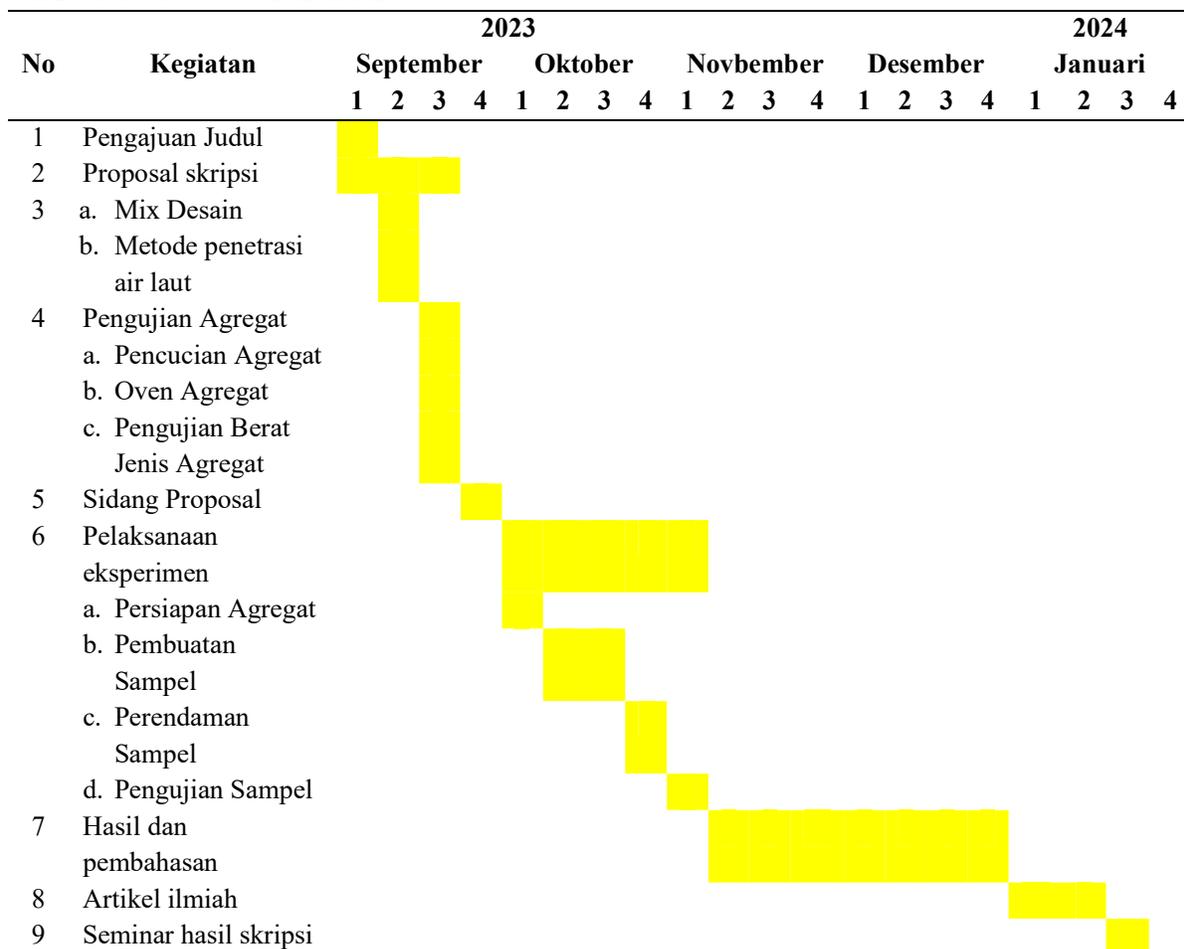
Kadar Aspal = 4,5 %

Berat Benda = 1200 gr

Uji

Berat Aspal = 54 gr

2.2.9 Time Schedule Penelitian



BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Analisis Pengujian Material

Pengujian material memegang peran kunci dalam menjamin kelancaran, keamanan, dan kualitas tinggi dari setiap proyek konstruksi. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh mencakup peningkatan kualitas konstruksi, pengurangan risiko kegagalan struktural, serta jaminan dan keamanan. Oleh karena itu, pengujian material dapat dianggap sebagai investasi vital untuk mencapai kesuksesan keseluruhan proyek dan mendukung perkembangan infrastruktur yang berkelanjutan.

3.1.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material granular yang digunakan dalam campuran beton. Umumnya terdiri dari batu pecah, kerikil, atau material alam lainnya dengan ukuran butir yang lebih besar. Agregat kasar berperan dalam memberikan kekuatan struktural pada beton dan memberikan kepadatan yang diperlukan. Ukuran agregat kasar bervariasi tergantung pada spesifikasi desain.

Tabel 3.1 Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian	Sampel	
		1	2
1	Berat jenis kering permukaan (A)	493	480
2	Berat benda uji kering oven (B)	500	500
3	Berat benda uji dalam air (C)	327	319

Untuk analisis agregat dilakukan Berat benda uji kering permukaan (A), berat benda uji kering oven (B) dan berat benda uji dalam air (C). Adapun perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Sampel 1 :

$$\begin{aligned}
 B_j &= \frac{A}{(B-C)} \\
 &= \frac{493}{(500-327)} \\
 &= 2,849 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Sampel 2 :

$$\begin{aligned}
 B_j &= \frac{A}{(B-C)} \\
 &= \frac{480}{(500-319)} \\
 &= 2,651 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Dari kedua sampel diatas didapat rata – rata hasil perhitungan sebagai berikut. Sampel Rata-rata :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{2,849 + 2,651}{2} \\
 &= 2,750 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Dalam pengujian ini hanya menganalisis perhitungan berat jenis agregat kasar dan pengujian lainnya tidak dilakukan. Dalam pengujian ini diambil dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Handayani, 2023).

3.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah material berbutir kecil yang digunakan dalam campuran beton. Biasanya terdiri dari pasir alam atau bahan buatan manusia seperti serbuk batu, dan ukurannya lebih kecil daripada agregat kasar. Agregat halus berperan dalam memberikan kehalusan permukaan beton, meningkatkan daya rekat antarbutir, serta membantu mencapai kekuatan dan konsistensi yang diinginkan dalam

campuran beton. Ukuran dan distribusi butir agregat halus juga memiliki pengaruh pada sifat-sifat fisik dan mekanik beton yang dihasilkan. Hasil analisis pengujian berat jenis agregat halus dapat dilihat pada **tabel 3.2** dibawah ini.

Tabel 3.2 Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Sampel	
		1	2
1	Berat jenis kering permukaan (S)	493	480
2	Berat benda uji kering oven (A)	500	500
3	Berat piknometer + air (B)	327	319
4	Berat piknometer + benda uji + air (C)	969	980

Untuk analisis agregat dilakukan Berat benda uji kering permukaan (S), berat benda uji kering oven (A), berat piknometer + air (B) dan berat piknometer + benda uji + air (C). Adapun perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Sampel 1 :

$$\begin{aligned}
 B_j &= \frac{A}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{500}{(327+493-969)} \\
 &= 2,600 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Sampel 2 :

$$\begin{aligned}
 B_j &= \frac{A}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{500}{(319+480-980)} \\
 &= 2,641 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Dari kedua sampel diatas didapat rata – rata hasil perhitungan sebagai berikut. Sampel Rata-rata :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{2,600 + 2,641}{2} \\
 &= 2,6205 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

3.1.3 Pengujian Aspal

Berat jenis aspal dalam perkerasan jalan menjadi faktor kunci dalam menentukan keberhasilan campuran aspal, mengingat kualitas dan jumlah aspal yang digunakan memiliki signifikansi yang besar. Salah satu metode pengujian yang esensial untuk menilai kualitas aspal adalah dengan mengukur berat jenisnya. Selain memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan untuk aspal, berat jenis juga memainkan peran penting dalam mengonversi antara berat dan volume aspal. Standar ini berfungsi sebagai panduan bagi para penanggung jawab dan teknisi laboratorium yang melakukan pengujian berat jenis aspal. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa pengujian berat jenis aspal dilaksanakan secara seragam, sehingga hasilnya dapat diperoleh dengan akurasi dan kebenaran yang tinggi. Pengujian kekerasan berat jenis aspal dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, oleh karena itu, untuk menjaga konsistensi dalam pengujian, prosedur yang terinci diperlukan. Proses ini melibatkan pengambilan sampel uji, persiapan sampel uji, kalibrasi piknometer, metode pengujian, perhitungan hasil, pelaporan, dan aspek-aspek lain yang dianggap perlu. Hasil dari pengujian berat jenis aspal dapat ditemukan dalam **Tabel 3.3** di bawah ini.

Tabel 3.3 Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Percobaan		Rata - Rata
	1	2	
Berat piknometer (gr) (A)	120	120	120
Berat piknometer + Air (gr) (B)	270	270	270
Berat piknometer + Aspal Air (gr) (C)	195	190	192.5
Berat piknometer + Aspal + Air (gr) (D)	285	283	284
Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>) (C - A) / (B - A) - (D - C)	1.250	1.228	1.239

Untuk analisis pengujian berat jenis aspal karet meliputi berat piknometer (A), berat piknometer + air (B), berat piknometer + aspal (C), dan berat piknometer + aspal + air (D). Adapun perhitungan berat jenis aspal dapat dilihat sebagai berikut.

Sampel 1 :

$$B_j = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$$

$$= \frac{((195-120))}{((270-120)-(288-195))}$$

$$= 1,250 \text{ gr}$$

Sampel 2 :

$$B_j = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$$

$$= \frac{((190-120))}{((270-120)-(283-190))}$$

$$= 1,228 \text{ gr}$$

Rata – rata sampel :

$$BJ = \frac{(\text{sampel 1} + \text{sampel 2})}{2}$$

$$= \frac{(1,250 + 1,228)}{2}$$

$$= 1,239 \text{ gr}$$

Data yang diperoleh dari eksperimen melibatkan pengukuran berat piknometer (A), berat piknometer dengan air (B) berat piknometer dengan campuran air dan aspal (C), yang diungkapkan dalam satuan gram. Hasil berat yang diperoleh dari eksperimen tersebut dapat diterapkan untuk mengestimasi berat aspal, berat air yang pertama kali disuling, dan berat air yang telah diambil keseluruhan. Berdasarkan data eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan, data tersebut digunakan untuk menghitung berat jenis, yang diukur dalam satuan gram per mililiter (gram/ml). Berdasarkan perhitungan tersebut, berat jenis yang dihasilkan adalah sekitar 1,239 gram/ml.

3.1.4 Pengujian *Filler Fly Ash*

Pengujian berat jenis *filler* aspal adalah langkah penting dalam pembuatan sampel aspal yang berkualitas. Saat menciptakan campuran aspal, agregat halus, *fly ash*, atau bahan pengisi lainnya digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis dan kohesi aspal. Untuk memastikan bahwa campuran aspal memenuhi spesifikasi yang diperlukan, perlu dilakukan pengujian berat jenis *filler*. Adapaun pengujian *filler* dapat dilihat pada **gambar 3.4** dibawah ini :

Tabel 3.4 Pengujian *filler fly ash*

No	Pengujian	Sampel	
		1	2
1	Berat piknometer (A)	68 gr	68 gr
2	Berat piknometer + air (B)	166 gr	165 gr
3	Berat piknometer + filler (C)	80 gr	74 gr
4	Berat piknometer + filler + air (D)	178 gr	182 gr

Sampel 1 :

$$\begin{aligned} &= (C-A)/(B-C)-(D-C) \\ &= (80-68)/(166-80)-(178-80) \\ &= 4,14 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Sampel 2 :

$$\begin{aligned} &= ((C-A))/((B-C)-(D-C)) \\ &= ((74-68))/((165-74)-(182-74)) \\ &= 0,5 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Sampel Rata-rata :

$$\begin{aligned} &= (\text{Sampel 1}-\text{Sampel 2})/2 \\ &= (4,14+0,5)/2 \\ &= 2,32 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

3.1.5 Pengujian Air Laut

Pengujian air laut adalah suatu proses penting dalam memahami dan menjaga keseimbangan ekosistem laut. Dengan mengukur berbagai parameter seperti suhu, kadar garam, pH, dan tingkat polutan, kita dapat mengidentifikasi perubahan yang mungkin terjadi di dalam lautan. Data pengujian air laut tidak hanya membantu dalam mendeteksi polusi, tetapi juga memberikan wawasan tentang perubahan iklim dan kondisi lingkungan laut yang lebih luas. Para ilmuwan dan peneliti bekerja keras untuk mengumpulkan dan menganalisis data ini, yang kemudian digunakan untuk merencanakan tindakan pelestarian dan pengelolaan sumber daya laut yang lebih baik. Dalam era perubahan iklim dan pertumbuhan populasi manusia, pengujian air laut menjadi semakin penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem laut dan menjaga air laut yang bersih dan sehat sebagai warisan berharga bagi generasi mendatang.

1. Pengujian kadar garam

Pengujian kadar garam dalam air laut melibatkan pengukuran jumlah garam atau mineral yang terlarut dalamnya. Penggunaan hidrometer adalah metode yang umum digunakan untuk mengukur kadar garam dalam air laut. Sebagai contoh, dalam pengujian kadar garam air laut, didapatkan hasil sebesar 020 menggunakan alat hidrometer. Ini berarti air laut memiliki rata-rata konsentrasi garam sekitar 3,5% atau setara dengan 35 gram garam dalam setiap per-liter (1000 mL) air laut. Adapun pengujian kadar garam dapat dilihat pada **gambar 3.1** dibawah ini :



Gambar 3.1 Pengujian kadar garam

2. Pengujian kadar pH

Pengujian kadar pH air laut dilakukan dengan menggunakan kertas lakmus, dan hasilnya menunjukkan pH sebesar 6. Air laut memiliki kandungan garam rata-rata sekitar 3,5%. Biasanya, pH air laut berada di atas 7, menunjukkan sifat dasar, meskipun dalam situasi tertentu, pH dapat menjadi lebih rendah dari 7, menandakan sifat asam. Sebagian besar organisme akuatik sangat peka terhadap fluktuasi pH, dan nilai pH yang optimal untuk kehidupan berkisar antara 7 hingga 8,5 (Susana, 2009). Adapaun pengujian kadar pH dapat dilihat pada **gambar 3.2** dibawah ini :



Gambar 3.2 Pengujian kadar pH

3.2 Perhitungan Mix Design

Mix Design adalah suatu rencana campuran yang digunakan sebagai pedoman dalam pembuatan campuran. Rencana tersebut harus memenuhi persyaratan yang ditentukan. Berikut adalah perhitungan mix design perkerasan Laston AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dapat dilihat pada **Tabel 3.5** di bawah ini :

Tabel 3.5 Perhitungan mix design

Saringan No. (Inch)	Bukaan (mm)	Spesifikasi Agregat Lolos Saringan %			% Agregat Lolos dan Tertahan		Berat Agregat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan Total	Tertahan Tiap Saringan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0
1/2"	12.5	90	100	95.00	5.00	5.00	57.30	57
3/8"	9.5	77	90	83.50	16.50	11.50	131.79	189
No.4"	4.75	53	69	61.00	39.00	22.50	257.85	447
No.8"	2.36	33	53	43.00	57.00	18.00	206.28	653
No.16"	1.18	21	40	30.50	69.50	12.50	143.25	796
No.30"	0.600	14	30	22.00	78.00	8.50	97.41	894
No.50"	0.300	9	22	15.50	84.50	6.50	74.49	968
No.100"	0.150	6	15	10.50	89.50	5.00	57.30	1026
No.200"	0.075	4	4	4.00	96.00	6.50	74.49	1100
PAN	0	0	0	0.00	100.00	4.00	45.84	1146
							1146	

a. Rumus Perhitungan

Perhitungan saringan lolos = (min + max)/2

$$(100 + 100)/2 = 100.00$$

$$(90 + 100)/2 = 95.00$$

$$\begin{aligned}
(77 + 90)/2 &= 83.50 \\
(53 + 69)/2 &= 61.00 \\
(33 + 53)/2 &= 43.00 \\
(21 + 40)/2 &= 30.50 \\
(14 + 30)/2 &= 22.00 \\
(9 + 22)/2 &= 15.50 \\
(4 + 15)/2 &= 10.50 \\
(4 + 4)/2 &= 6.00 \\
(0 + 0)/2 &= 0.00
\end{aligned}$$

b. Perhitungan saringan tertahan = 100 – (Saringan lolos)

$$\begin{aligned}
100.00 - 100.00 &= 0.00 \\
100.00 - 95.00 &= 5.00 \\
100.00 - 83.50 &= 16.50 \\
100.00 - 61.00 &= 39.00 \\
100.00 - 43.00 &= 57.00 \\
100.00 - 30.50 &= 69.50 \\
100.00 - 22.00 &= 78.00 \\
100.00 - 15.50 &= 84.50 \\
100.00 - 10.50 &= 89.50 \\
100.00 - 6.00 &= 94.00 \\
100.00 - 0.00 &= 100.00
\end{aligned}$$

3.2.1 Kadar Aspal

A. Nilai Konstanta 0,5

$$\begin{aligned}
CA &= 57 \text{ (agregat tertahan di saringan No. 8)} \\
FA &= 39 \text{ (agregat tertahan saringan No. 8 – saringan No. 200)} \\
Filler &= 4 \text{ (agregat lolos saringan No. 200)} \\
Konstanta &= 0,05 \\
Pb &= 0.035 (\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18 (\%Filler) + 0.05 \\
&= 0.035 (57) + 0.045 (39) + 0.18 (4) + 0.05 \\
&= 4.520 \% \\
Pb dibulatkan &= 4,5 \%
\end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
CA &= \textit{Coarse Aggregate} \\
FA &= \textit{Fine Aggregate} \\
Filler &= \textit{Filler} \\
Konstanta &= 0,05 - 1 \\
Pb &= \text{Kadar Aspal Rencana}
\end{aligned}$$

B. Perhitungan Kadar Berat Aspal

$$\begin{aligned}
\text{Berat benda uji (gr)} &= 1200 \\
\text{Berat Aspal} &= \text{kadar aspal (\%)} \times \text{Berat benda uji} \\
&= 4,5 \% \times 1200 = 54 \text{ gram}
\end{aligned}$$

C. Perhitungan berat kadar aspal

$$\begin{aligned}
\text{Kadar Aspal} &= 4,5\% \\
\text{Berat Benda Uji (gr)} &= 1200 \text{ gr} \\
\text{Berat Aspal} &= 54 \text{ gr}
\end{aligned}$$

Berdasarkan berat aspal yang telah diperoleh yaitu 60 gr, maka berat total agregat dapat dilihat pada **Tabel 3.6** di bawah ini.

Tabel 3. 6 Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	4,5 %
Berat Benda Uji (gr)	1200 gr
Berat Aspal (gr)	54 gr
Berat Total Agregat (gr)	1146 gr

3.2.2 Perhitungan Spesifikasi Agregat Lolos Saringan (%)

Perhitungan spesifikasi agregat yang lolos saringan merupakan proses dalam labotarium. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan dalam campuran aspal memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Perhitungan ini melibatkan analisis ukuran partikel, distribusi berat jenis, kelembutan, dan karakteristik fisik lainnya dari agregat. Dengan memperhatikan aspek-aspek ini, insinyur konstruksi dapat menentukan proporsi yang tepat dalam campuran, sehingga menciptakan material konstruksi yang kokoh dan tahan lama. Selain itu, perhitungan spesifikasi agregat yang cermat juga berperan penting dalam mengoptimalkan kinerja struktural dan estetika proyek konstruksi secara keseluruhan. Berikut adalah perhitungan mix design perkerasan Laston AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dapat dilihat pada **Tabel 3.7** di bawah ini.

Tabel 3. 7 Perhitungan Spesifikasi Agregat Lolos Saringan

Saringan No. (Inch)	Bukaan (mm)	Spesifikasi Agregat Lolos Saringan %		% Agregat Lolos dan Tertahan	
		Min	Max	Lolos	Tertahan Total
3/4"	19	100	100	100.000	0.000
1/2"	12.5	90	100	95.000	5.000
3/8"	9.5	77	90	83.500	16.500
No.4"	4.75	53	69	61.000	39.000
No.8"	2.36	33	53	43.000	57.000
No.16"	1.18	21	40	30.500	69.500
No.30"	0.600	14	30	22.000	78.000
No.50"	0.300	9	22	15.500	84.500
No.100"	0.150	6	15	10.500	89.500
No.200"	0.075	4	8	6.000	94.000
PAN	0	0	0	0.000	100.000

- Perhitungan Saringan Lolos Saringan = $(\text{Min} - \text{Max})/2$
Saringan = $(\text{Min} + \text{Max})/2$
Saringan No 1/2" = $(90+100)/2 = 95$ gr
Saringan No 3/8" = $(77+90)/2 = 83,5$ gr
- Perhitungan Saringan Tertahan Total (dapat dilihat dari tabel 3.7)
Perhitungan saringan tertahan total = 100 – saringan lolos
Tertahan total = 100 – lolos
= 100 – 95 = 5 gr
= 100 – 83,5 = 16,5 gr
- Perhitungan Berat Agregat Tertahan (dapat dilihat dari tabel 3.7)
Perhitungan saringan 1/2"
Berat agregat tertahan = % agregat tertahan + berat total agregat
= $\frac{5}{100} \times 1146$
= 57,3 gr
Perhitungan saringan 3/8" (dapat dilihat dari tabel 3.7)

Berat agregat tertahan = % agregat tertahan + berat total agregat

$$= \frac{16,5}{100} \times 1146 = 189,01 \text{ gr}$$

4. Perhitungan Jumlah Berat Agregat Tertahan (dapat dilihat dari tabel 3.7)

Perhitungan jumlah saringan tertahan 1/2"

Jumlah berat tertahan agregat saringan 1/2" = 0 + 57,3 = 57,3 gr

Jumlah berat agregat saringan 3/8" = 57,3 + 189,01

= 246,31 gr

3.3 Analisis Pengujian Marshall

Hasil pengujian didapat dari pengujian *marshall*, pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, *Void In The Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, *Void Mineral Aggregate (VMA)*. Dalam analisis hasil pengujian *Marshall* yang telah dilakukan, dapat dilihat pada **Tabel 3.8 dan Tabel 3.9** untuk *filler* normal dibawah angka koreksi merupakan langkah awal dalam perhitungan yang dilakukan

Tabel 3. 8 Angka Koreksi *Filler* Fly Ash

FILLER FLY ASH									
waktu digenangin (jam)	sampel	Berat kering (gr)	Berat dalam air (gr)	Berat SSD (gr)	Tinggi 3 sisi			Rata-rata (cm)	Angka koreksi
					1	2	3		
UJI BELAH									
5 jam	2	1188	690	1190	6.44	6.48	6.46	6.46	0.94
	3	1187	691	1190	6.37	6.37	6.39	6.38	0.98
	1	1196	712	1203	6.35	6.33	6.34	6.34	1.01
10 jam	2	UJI BELAH							
	3	1198	717	1201	6.05	6.08	6.08	6.07	1.08

Tabel 3. 9 Angka Koreksi *Filler* Normal

FILLER NORMAL									
waktu digenangin (jam)	sampel	Berat kering (gr)	Berat dalam air (gr)	Berat SSD (gr)	Tinggi 3 sisi			Rata-rata (cm)	Angka koreksi
					1	2	3		
UJI BELAH									
5 jam	2	1197	707	1200	6.37	6.38	6.37	6.37	0.98
	3	1192	718	1196	5.61	5.62	5.62	5.62	1.23
	1	1187	712	1188	6.01	6.09	6.06	6.05	1.08
10 jam	2	1193	704	1199	6.09	6.11	6.10	6.10	1.07
	3	UJI BELAH							

3.3.1 Hasil Pengujian Marshall *Filler* Fly Ash

Setelah melakukan pengujian *Marshall filler* Fly Ash maka didapatkan hasil data yang akan di analisis dengan tujuan untuk mendapatkan nilai karakteristik *marshall* pada *Stabilitas*, *Kelelahan (Flow)*, *Marshall Quotient (MQ)*, rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga dalam aspal (VFA). Maka data yang sudah didapatkan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Data perhitungan Filler Fly Ash

FILLER FLY ASH									
Lama Genangan	Sampel	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flo w (mm)	MQ (Kg/mm)	VIT M (%)	VFW A (%)	VM A (%)	Density (Kg/m ³)
UJI PENETRASI/UJI BELAH									
5 Jam	1							16.1	
	2	4.520	1825.99	3.30	553.33	6.13	62.12	8	2.38
	3		1850.24	5.19	356.50	6.02	62.57	8	2.38
	Rata-rata		1838.11	4.25	454.92	6.07	62.34	3	2.38
10 Jam								14.0	
	1		1995.37	5.70	350.07	3.76	73.24	7	2.436
	2	4.520							
	3		2132.95	3.90	546.91	2.21	82.58	8	2.48
Rata-rata		2064.16	4.80	448.49	2.99	77.91	7	2.46	
Spesifikasi			>800	>3	>250	>3.5-5	>65	>15	>2

Analisis hasil pengujian *marshall* dijelaskan bahwa perhitungan dengan lama genangan 5 jam digunakan sebagai contoh untuk perhitungan lain.

1. Stabilitas

Stabilitas = P x Koreksi tebal benda uji (angka koreksi) pada tabel 3.8

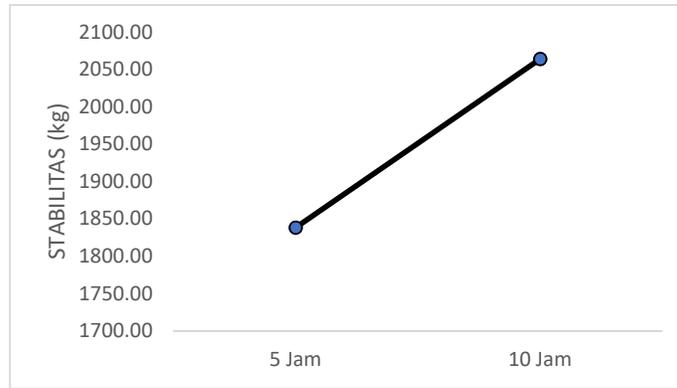
Sampel 1 = uji penetrasi (uji belah)

Sampel 2 = 1935,05 x 0,94
= 1825,99 Kg

Sampel 3 = 1890,57 x 0,98
= 1850,24 Kg

Rata – rata = $\frac{1825,99+1850,24}{2}$
= 1838,11 Kg

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.3** grafik stabilitas dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.3 Grafik Stabilitas

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas pada Tabel 3.11 di atas nilai stabilitas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 nilai stabilitas 1825,99 kg, sampel 3 dengan nilai 1850,24 kg, dan untuk nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 1838,11 kg sudah sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai stabilitas > 800 Kg. Untuk nilai stabilitas pada sampel ke-dua sampel dengan lama genangan 5 jam sudah sesuai dengan ketentuan karena > 800 kg, dimana dengan nilai stabilitas > 800 kg maka kedua sampel tersebut semakin kuat menahan beban sedangkan jika < 800 maka perkerasan jalan tidak kuat menahan beban. Pada Gambar 3.10 grafik stabilitas di atas, untuk nilai rata – rata lama genangan 5 jam didapatkan nilai 1838,11 kg, lama genangan 10 jam dengan nilai 2064,16 Kg. Sampel dengan lama genangan 10 jam mengalami kenaikan yang disebabkan oleh genangan terlalu lama pada sampel tersebut.

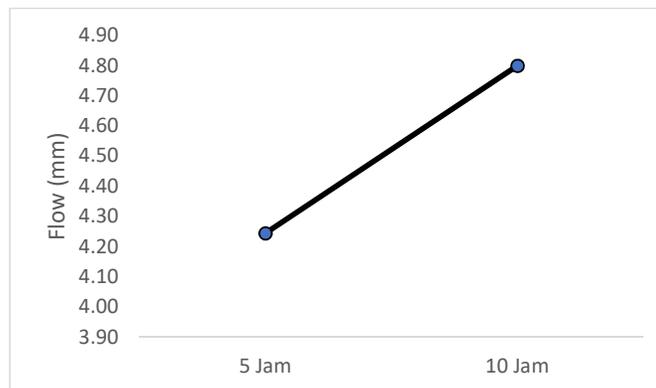
2. Flow (Kelelehan)

Flow = Nilai yang di dapatkan pada pengujian *marshall* (mm) (dapat dilihat pada **Tabel 3.10** hasil pengujian marshall)

- Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)
- Sampel 2 = 3,30 mm
- Sampel 3 = 5,19 mm

$$\begin{aligned} \text{Rata – rata} &= \frac{3,30+5,19}{2} \\ &= 4,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah Gambar 3.4 grafik flow dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.4 Grafik Flow

Pada hasil pengujian diatas didapat hasil nilai *flow* dari genangan 5 jam yaitu sampel 1 diuji penterasi (Uji belah), sampel 2 didapat 3,30 mm, dan sampel 3 didapat 5,19 mm dan nilai rata – rata didapat yaitu 4,25 mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu >3 Dapat dilihat untuk genangan 5 jam mengalami kenaikan nilai *flow* nya, yang dimana apabila semakin naik nilai *flow* nya maka akan semakin elastis dan kurang efisien. Untuk ketiga sampel semuanya telah memenuhi syarat ketentuan untuk nilai flow yaitu >3.

3. (MQ) Marshall Quotient

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}}$$

Sampel 1 = diuji penterasi (Uji belah)

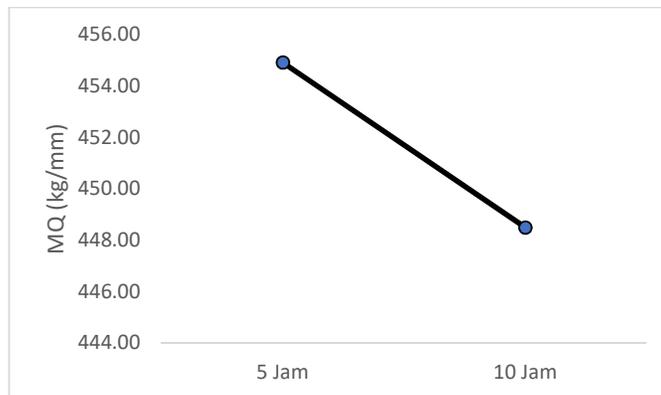
$$\text{Sampel 2} = \frac{1825,99}{3,30} = 553,33 \text{ Kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{1850,24}{5,19} = 356,50 \text{ Kg/mm}$$

Dari kedua sampel diatas didapat nilai rata – rata yaitu :

$$\text{Rata – rata} = \frac{553,33+356,50}{2} = 454,92 \text{ Kg/mm}$$

Pada hasil perhitungan MQ (*Marshall Quotient*) diatas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.5** dibawah ini.



Gambar 3.5 Grafik MQ (Marshall Quotient)

Berdasarkan hasil pengujian marshall quotient dapat dilihat pada Tabel 3.3 hasil pengujian didapat nilai dari sampe 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 senilai 553,33 kg/mm, dan sampel 3 senilai 356,50 kg/mm dan nilai rata – rata nya adalah 454,92 kg/mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi II yaitu >250 kg/mm jika nilai MQ terlalu rendah maka menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Untuk ketiga sampel diatas semuanya telah memenuhi syarat ketentuan nilai MQ yaitu >250.

4. VITM (Void In The Mix)

$$\text{VITM} = 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$$

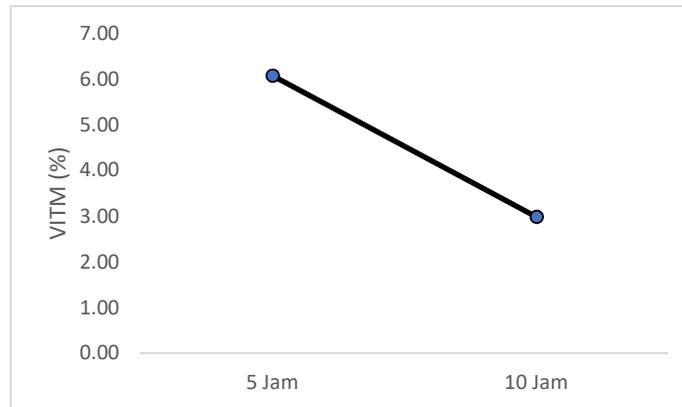
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = 100 - \left(100 \times \frac{2,376}{2,531}\right) = 6,13 \%$$

$$\text{Sampel 3} = 100 - \left(100 \times \frac{2,379}{2,531}\right) = 6,02 \%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{6,13+6,02}{2} = 6,07 \%$$

Pada hasil perhitungan VITM (*Void In The Mix*) di atas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.6** di bawah



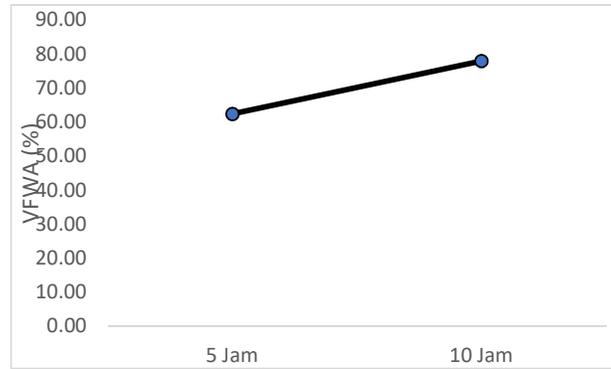
Gambar 3.6 Grafik *Void In The Mix* (VITM)

Berdasarkan hasil pengujian nilai *void in the mix* pada **Tabel 3.10** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 Uji penetrasi (uji belah), sampel 2 dengan nilai 6,13 %, dan sampel 3 dengan nilai 6,02 %, dan untuk nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut adalah 6,07 %. Tidak Sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai 3.5 - 5 %. Untuk nilai *void in the mix* kedua sampel tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena 3.5 – 5 dikarenakan indikator kekurangan kualitas suatu campuran aspal. Jika nilai VITM berada di luar batas yang ditentukan, hal ini bisa mengakibatkan performa aspal yang tidak optimal dalam menahan beban lalu lintas dan menghadapi kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan cepat pada struktur jalan atau mengurangi daya tahan campuran aspal AC-WC. Pada **Gambar 3.13** *void in the mix* (VITM) di atas untuk rata-rata dari kedua sampel lama genangan, dengan lama genangan 5 jam dengan nilai 6,07% dan 10 jam mengalami penurunan dengan nilai sebesar 2,99 % tidak memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 revisi 2 sebesar 3.5 - 5 %. Jika nilai VITM semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat (mudah retak dan muncul alur pada perkerasan laston AC – WC).

5. VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

$$\begin{aligned} \text{VFWA} &= 100 \times \frac{i}{l} \\ \text{Sampel 1} &= \text{Uji penetrasi (uji belah)} \\ \text{Sampel 2} &= 100 \times \frac{10,05}{16,18} = 62,12 \% \\ \text{Sampel 3} &= 100 \times \frac{10,06}{16,08} = 62,57 \% \\ \text{Rata - rata} &= \frac{62,12+62,57}{2} = 62,34 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *void filled with asphalt* (VFWA) di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.7** grafik *void filled with asphalt* (VFWA) dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.7 Grafik *Void Filled With Asphalt %* (VFWA)

Berdasarkan hasil pengujian nilai void filled with asphalt pada **Tabel 3.10** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah) %, sampel 2 dengan nilai 62,12 %, sampel 3 dengan nilai 62,57 %, dan untuk nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut adalah 62,34 % tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai >65 % dikarenakan Hal ini dapat disebabkan oleh sejumlah faktor yang mempengaruhi akurasi pengujian. Perbedaan dalam komposisi campuran, variasi dalam kondisi pengujian, atau ketidaksesuaian peralatan dan metode pengujian dapat memberikan hasil yang tidak konsisten. Untuk nilai VFWA kedua sampel tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena > 65 % dimana persentasi ruang kosong yang terisi oleh aspal dalam campuran agregat dan aspal yang telah dipadatkan diantara rongga-rongga antara agregat harus > 65 %. Pada grafik 3.14 *void filled with asphalt* di atas untuk rata-rata dari ketiga lama rendaman, untuk lama genangan 5 jam dengan nilai 62,34 % dan 10 jam mengalami kenaikan dengan nilai 77,91 %, yang memenuhi dalam ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 yang telah ditetapkan sebesar >65 %. Maka sampel 5 jam tidak memenuhi syarat, dan sampel 10 sudah memenuhi syarat.

6. **Void Mineral Aggregate (VMA)**

$$\text{VMA} = 100 - j$$

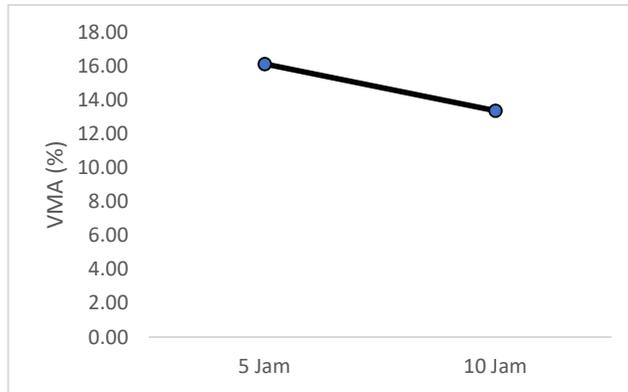
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = 100 - 83,52 = 16,18 \%$$

$$\text{Sampel 3} = 100 - 83,92 = 16,08 \%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{16,18 + 16,08}{2} = 16,13 \%$$

Dalam hasil perhitungan Void Mineral Aggregate (VMA) di atas, tergambar pengaruh durasi rendaman air laut di selama 5 jam, dan 10 jam. Grafik yang mencerminkan hal ini dapat ditemukan pada Gambar 3.8 di bawah.



Gambar 3.8 Grafik Void Mineral Aggregate (VMA)

Berdasarkan data hasil pengujian *VMA* yang terdapat dalam **Tabel 3.10** dengan durasi genangan air laut selama 5 jam, dapat dilihat bahwa nilai *void mineral aggregate* pada sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan nilai 16,18 %, dan sampel 3 dengan nilai sekitar 16,08 %. Rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 16,13 %, berarti sudah sesuai dengan standar Bina Marga 2018 revisi 2 yang mengharuskan nilai void lebih dari 16%. Dalam Gambar 3.15, terlihat bahwa rata-rata *void mineral aggregate* untuk durasi genangan 5 jam adalah 16,13 % sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%), sedangkan pada durasi 10 jam mengalami penurunan menjadi 13,371% tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%). Dikarenakan Beberapa faktor yang mungkin menyebabkan ketidaksesuaian ini melibatkan komposisi campuran, variasi kondisi pengujian, atau mungkin perubahan dalam standar Bina Marga yang diperbarui.

7. *Density*

$$\begin{aligned}
 \text{Density} &= \frac{c}{f} \\
 &= \frac{\text{Berat Kering (gr)}}{\text{Volume isi (gr)}}
 \end{aligned}$$

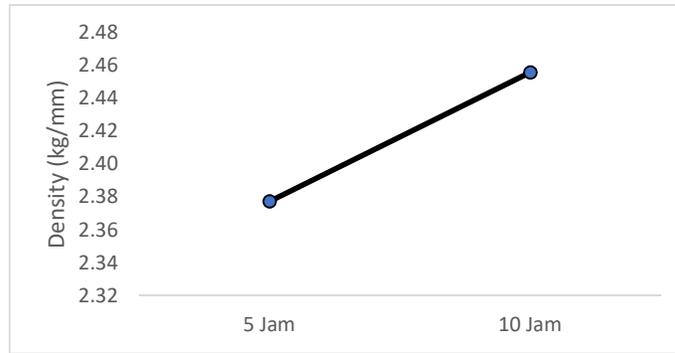
Sampel 1 Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = \frac{1188}{500} = 2,38 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{1187}{499} = 2,38 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{2,38+2,38}{2} = 2,38 \text{ kg/mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan density di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.9** grafik density dengan lama rendaman 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.9 Grafik *Density*

Berdasarkan data yang terdapat dalam **Tabel 3.10** dan **Gambar Grafik 3.9**, hasil pengujian *density* menunjukkan nilai untuk sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan durasi genangan selama 5 jam dengan nilai 2,38 Kg/mm, dan sampel 3 memiliki nilai 2,38 kg/mm. Rata-rata nilai *density* dari kedua sampel tersebut adalah 2,38 kg/mm, sesuai dengan standar Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai >2 gr. Pada Grafik 3.16 terlihat bahwa nilai *density* kedua sampel mengalami perubahan; pada durasi genangan 5 jam, terjadi peningkatan, sementara pada durasi genangan 10 jam, terjadi penurunan. *Density* yang tinggi menunjukkan kemampuan lebih baik dalam menahan beban yang berat, berbeda dengan nilai densitas yang rendah, seperti yang terlihat pada sampel dengan durasi genangan 10 jam dalam Grafik 3.16. Penting untuk dicatat bahwa keduanya memenuhi persyaratan ketentuan nilai densitas, yaitu >2 gr.

3.3.2 Hasil Pengujian Marshall Filler Normal

Pengujian Marshall pada campuran aspal dengan menggunakan filler normal adalah suatu proses penting dalam menilai karakteristik mekanik dan stabilitas campuran aspal. Filler normal, yang dapat berupa pasir, abu batu, atau bahan filler lainnya, digunakan sebagai salah satu komponen dalam menciptakan campuran aspal yang memenuhi standar kualitas. Hasil pengujian Marshall mencakup parameter-parameter seperti Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotient* (MQ), rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga dalam aspal (VFA). Maka data yang sudah didapatkan tersebut dapat dilihat pada **tabel 3.11**.

Tabel 3. 1 Data Hasil Perhitungan *Filler* Normal

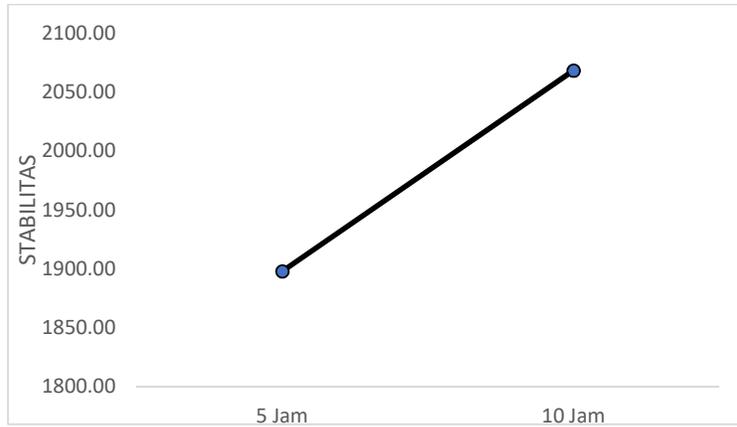
Lama Genangan	Sampel	FILLER NORMAL							
		Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VFB (%)	VMA (%)	Density (Kg/mm)
5 Jam	1	6.465	UJI BELAH/UJI PENETRASI						
	2		1527.88	5.00	305.575	4.074	71.596	14.34	2.428
	3		2268.38	5.25	432.072	1.477	87.717	12.02	2.494
	Rata-rata		1898.13	5.13	368.82	2.78	79.66	13.18	2.46
10 Jam	1	6.465	1998.77	4.80	416.41	1.478	87.709	12.02	2.494
	2		2138.15	3.90	548.24	4.781	68.073	14.97	2.410
	3		UJI BELAH/UJI PENETRASI						
	Rata-rata		2068.46	4.35	482.33	3.13	77.89	13.50	2.45
Spesifikasi			>800	>3	>250	>3.5-5	>65	>15	>2

Analisis hasil pengujian *marshall* dijelaskan bahwa perhitungan dengan lama genangan 5 jam digunakan sebagai contoh untuk perhitungan lain.

1. Stabilitas

Stabilitas	= P x Koreksi tebal benda uji (angka koreksi) pada tabel 3.9
Sampel 1	= uji penetrasi (uji belah)
Sampel 2	= 1556,94 x 0,98 = 1527,88 Kg
Sampel 3	= 1846,09 x 1,23 = 2268,38 Kg
Rata – rata	= $\frac{1527,88+2068,38}{2}$ = 1898,13 Kg

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.10** grafik stabilitas dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3. 10 Grafik Stabilitas

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas pada **Tabel 3.11** di atas nilai stabilitas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 nilai stabilitas 1527,88 kg, sampel 3 dengan nilai 2268,38 kg, dan untuk nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 1898,13 kg sudah sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai stabilitas > 800 Kg. Untuk nilai stabilitas pada sampel ke-dua sampel dengan lama genangan 5 jam sudah sesuai dengan ketentuan karena > 800 kg, dimana dengan nilai stabilitas > 800 kg maka kedua sampel tersebut semakin kuat menahan beban sedangkan jika < 800 maka perkerasan jalan tidak kuat menahan beban. Pada Gambar 3.10 grafik stabilitas di atas, untuk nilai rata – rata lama genangan 5 jam didapatkan nilai 2268,38 kg, lama genangan 10 jam dengan nilai 2068,46 Kg. Sampel dengan lama genangan 10 jam mengalami penurunan yang disebabkan oleh genangan terlalu lama pada sampel tersebut.

2. Flow (Kelelehan)

Flow = Nilai yang di dapatkan pada pengujian *marshall* (mm) (dapat dilihat pada Tabel 3.11 hasil pengujian marshall)

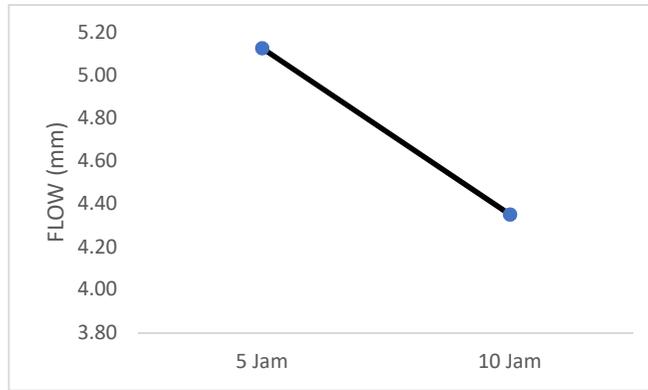
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

Sampel 2 = 5,00 mm

Sampel 3 = 5,25 mm

$$\begin{aligned} \text{Rata – rata} &= \frac{5,00+5,25}{2} \\ &= 5,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.11** grafik flow dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3. 11 Grafik Flow

Pada hasil pengujian diatas didapat hasil nilai *flow* dari genangan 5 jam yaitu sampel 1 diuji penterasi (Uji belah), sampel 2 didapat 5,00 mm, dan sampel 3 didapat 5,25 mm dan nilai rata – rata didapat yaitu 5,13 mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu >3 Dapat dilihat untuk genangan 5 jam mengalami kenaikan nilai *flow* nya, yang dimana apabila semakin naik nilai *flow* nya maka akan semakin elastis dan kurang efisien. Untuk ketiga sampel semuanya telah memenuhi syarat ketentuan untuk nilai *flow* yaitu >3.

3. **(MQ) Marshall Quotient**

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}}$$

Sampel 1 = diuji penterasi (Uji belah)

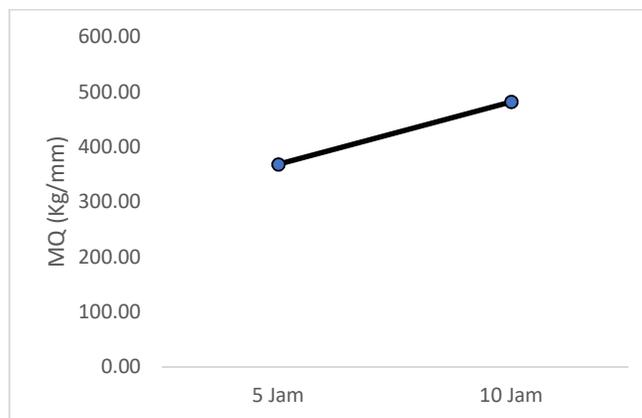
$$\text{Sampel 2} = \frac{1527,88}{5,00} = 305,88 \text{ Kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{2268,38}{5,25} = 432,07 \text{ Kg/mm}$$

Dari kedua sampel diatas didapat nilai rata – rata yaitu :

$$\text{Rata – rata} = \frac{305,88 + 432,07}{2} = 368,82 \text{ Kg/mm}$$

Pada hasil perhitungan MQ (*Marshall Quotient*) diatas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.12** dibawah ini.



Gambar 3. 12 Grafik MQ (Marshall Quotient)

Berdasarkan hasil pengujian marshall quotient dapat dilihat pada **Tabel 3.11** hasil pengujian didapat nilai dari sampe 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 senilai 305,88 kg/mm, dan sampel 3 senilai 432,07 kg/mm dan nilai rata – rata nya adalah 368,82 kg/mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi II yaitu >250 kg/mm jika nilai MQ terlalu rendah maka menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Untuk ketiga sampel diatas semuanya telah memenuhi syarat ketentuan nilai MQ yaitu >250.

4. **VITM (Void In The Mix)**

$$\text{VITM} = 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$$

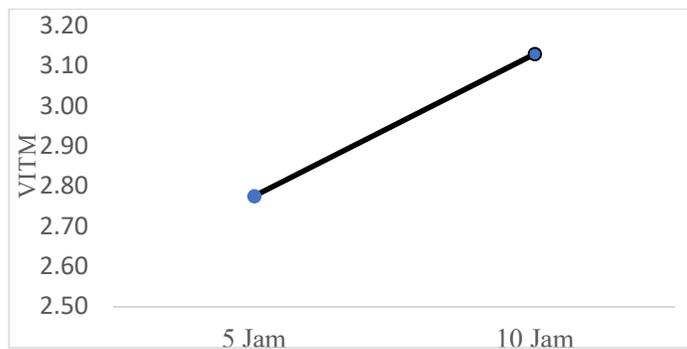
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

$$\begin{aligned} \text{Sampel 2} &= 100 - \left(100 \times \frac{2,428}{2,531}\right) \\ &= 4,07 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel 3} &= 100 - \left(100 \times \frac{2,494}{2,531}\right) \\ &= 1,48 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= \frac{4,07 + 1,48}{2} \\ &= 2,78 \% \end{aligned}$$

Pada hasil perhitungan VITM (*Void In The Mix*) di atas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.13** di bawah



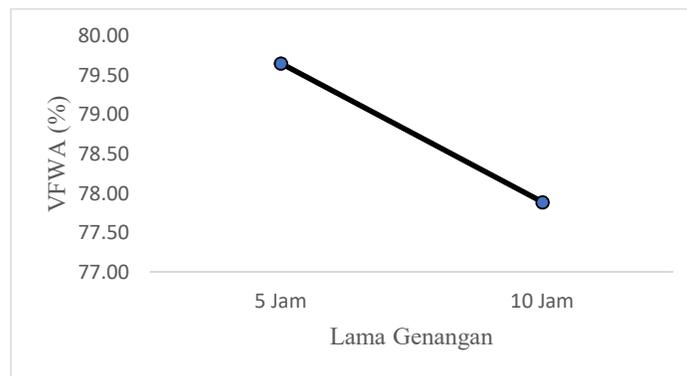
Gambar 3. 13 Grafik *Void In The Mix* (VITM)

Berdasarkan hasil pengujian nilai *void in the mix* pada **Tabel 3.11** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 Uji penetrasi (uji belah), sampel 2 dengan nilai 4,07%, dan sampel 3 dengan nilai 1,48 %, dan untuk nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 2,78 %. Sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai 3.5 - 5 %. Untuk nilai *void in the mix* kedua sampel 2 dan 3 tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena 3.5 – 5 dikarenakan indikator kekurangan kualitas suatu campuran aspal. Jika nilai VITM berada di luar batas yang ditentukan, hal ini bisa mengakibatkan performa aspal yang tidak optimal dalam menahan beban lalu lintas dan menghadapi kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan cepat pada struktur jalan atau mengurangi daya tahan campuran aspal AC-WC. Pada Gambar 3.13 *void in the mix* (VITM) di atas untuk rata-rata dari kedua sampel lama genangan, dengan lama genangan 5 jam dengan nilai 2,78% % dan 10 jam mengalami kenaikan dengan nilai sebesar 3,13 % tidak juga memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 revisi 2 sebesar 3.5 - 5 %. Jika nilai VITM semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat (mudah retak dan muncul alur pada perkerasan laston AC – WC).

5. VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

$$\begin{aligned} \text{VFWA} &= 100 \times \frac{i}{l} \\ \text{Sampel 1} &= \text{Uji penetrasi (uji belah)} \\ \text{Sampel 2} &= 100 \times \frac{10,27}{14,34} = 71,60 \% \\ \text{Sampel 3} &= 100 \times \frac{10,55}{12,02} = 87,72 \% \\ \text{Rata - rata} &= \frac{77,22+64,09}{2} = 79,66 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *void filled with asphalt* (VFWA) di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.14** grafik *void filled with asphalt* (VFWA) dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



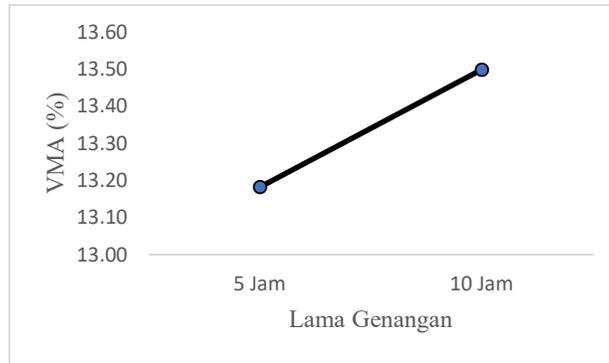
Gambar 3. 14 Grafik *Void Filled With Asphalt* % (VFWA)

Berdasarkan hasil pengujian nilai *void filled with asphalt* pada **Tabel 3.11** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah) %, sampel 2 dengan nilai 71,60 %, sampel 3 dengan nilai 87,72 %, dan untuk nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut adalah 79,66 % sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai >65 %. Untuk nilai VFWA kedua sampel sudah sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena > 65 % dimana persentasi ruang kosong yang terisi oleh aspal dalam campuran agregat dan aspal yang telah dipadatkan diantara rongga-rongga antara agregat harus > 65 %. Pada grafik 3.14 *void filled with asphalt* di atas untuk rata-rata dari ketiga lama rendaman, untuk lama genangan 5 jam dengan nilai 79,66 % dan 10 jam mengalami penurunan dengan nilai 77,89 %, yang memenuhi dalam ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 yang telah ditetapkan sebesar >65 %. Maka sampel 5 jam, dan sampel 10 sudah memenuhi syarat.

6. *Void Mineral Aggregate* (VMA)

$$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - j \\ \text{Sampel 1} &= \text{Uji penetrasi (uji belah)} \\ \text{Sampel 2} &= 100 - 85,66 \\ &= 14,34 \% \\ \text{Sampel 3} &= 100 - 87,98 \\ &= 12,02 \% \\ \text{Rata - rata} &= \frac{13,34+12,02}{2} \\ &= 13,18 \% \end{aligned}$$

Dalam hasil perhitungan *Void Mineral Aggregate* (VMA) di atas, tergambar pengaruh durasi rendaman air laut di selama 5 jam, dan 10 jam. Grafik yang mencerminkan hal ini dapat ditemukan pada **Gambar 3.15** di bawah.



Gambar 3. 15 Grafik Void Mineral Aggregate (VMA)

Berdasarkan data hasil pengujian *VMA* yang terdapat dalam **Tabel 3.11** dengan durasi genangan air laut selama 5 jam, dapat dilihat bahwa nilai *void mineral aggregate* pada sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan nilai 14,34%, dan sampel 3 dengan nilai sekitar 12,02 %. Rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 13,18%, berarti tidak sesuai dengan standar Bina Marga 2018 revisi 2 yang mengharuskan nilai void lebih dari 16%. Dikarenakan terdapat rongga pada sampel 1 dan sampel 3 tidak memenuhi standar karena nilai *j* (lihat lampiran 1) lebih besar, mengakibatkan nilai *VMA* pada keduanya kurang dari 16%. Dalam Gambar 3.15, terlihat bahwa rata-rata *void mineral aggregate* untuk durasi genangan 5 jam adalah 14,60 % tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%), sedangkan pada durasi 10 jam mengalami peningkatan menjadi 13,50 % tetap tidak juga memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%).

7. **Density**

$$Density = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{Berat\ Kering\ (gr)}{Volume\ isi\ (gr)}$$

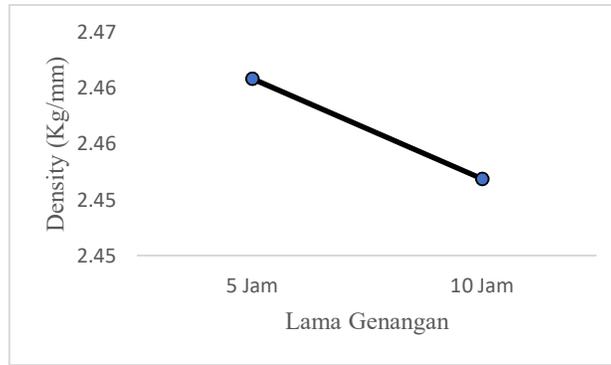
Sampel 1 Uji penetrasi (uji belah)

$$Sampel\ 2 = \frac{1197}{493} = 2,43\ kg/mm$$

$$Sampel\ 3 = \frac{1192}{478} = 2,49\ kg/mm$$

$$Rata - rata = \frac{2,43+2,49}{2} = 2,46\ kg/mm$$

Berdasarkan hasil perhitungan density di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.16** grafik density dengan lama rendaman 5 jam, dan 10 jam.



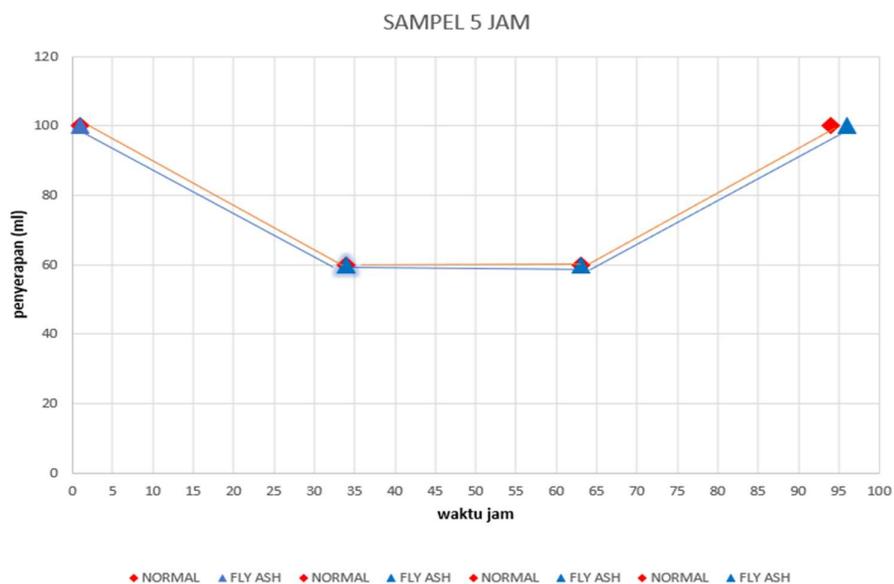
Gambar 3. 16 Grafik *Density*

Berdasarkan data yang terdapat dalam **Tabel 3.11** dan **Gambar 3.16**, hasil pengujian *density* menunjukkan nilai untuk sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan durasi genangan selama 5 jam dengan nilai 2,43 Kg/mm, dan sampel 3 memiliki nilai 2,46 kg/mm. Rata-rata nilai *density* dari kedua sampel tersebut adalah 2,46 kg/mm, sesuai dengan standar Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai >2 gr. Pada Grafik 3.16 terlihat bahwa nilai *density* kedua sampel mengalami perubahan; pada durasi genangan 5 jam, terjadi peningkatan, sementara pada durasi genangan 10 jam, terjadi penurunan. *Density* yang tinggi menunjukkan kemampuan lebih baik dalam menahan beban yang berat, berbeda dengan nilai densitas yang rendah, seperti yang terlihat pada sampel dengan durasi genangan 10 jam dalam Grafik 3.16. Penting untuk dicatat bahwa keduanya memenuhi persyaratan ketentuan nilai densitas, yaitu >2 gr.

3.3.3 Hasil Pengujian Penetrasi (Uji Belah)

Pengujian penetrasi air laut, atau uji belah terhadap sampel aspal tipe AC-WC, merupakan aspek penting dalam mengevaluasi respons material terhadap lingkungan yang agresif. Melalui pengujian ini, sampel aspal diuji terhadap penetrasi air laut untuk menilai sejauh mana kemampuannya untuk melindungi perkerasan jalan dari dampak korosif lingkungan laut. Hasil uji belah ini memberikan wawasan tentang tingkat ketahanan aspal terhadap penetrasi air laut, yang dapat memberikan indikasi tentang performa jangka panjang perkerasan di daerah yang terpapar oleh lingkungan pesisir. Maka data yang sudah didapatkan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.17**.

1. Pengujian penterasi air laut (Uji belah) pada sampel 5 jam



Gambar 3. 17 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut

- Berikut adalah penjelasan penyerapan air laut pada sampel durasi waktu 5 jam di bawah ini :
- Pada hari pertama sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.
 - Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 70 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 70 ml.
 - Pada hari ketiga sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 60 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 60 ml.
 - Pada hari keempat sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.



Gambar 3. 18 Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji Belah) Filler Fly Ash

Ini adalah sampel dengan filler abu batu yang di uji belah untuk melihat seberapa banyak air asin mempengaruhi kondisi didalam sampel aspal jika dengenangi selama 5 jam.



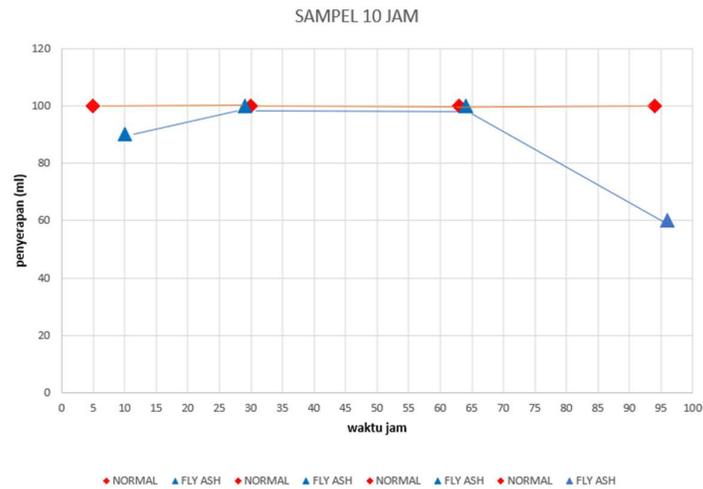
Gambar 3. 19 Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji Belah) Filler Normal/Abu Batu

Ini adalah contoh sampel dengan filler fly ash yang di uji belah untuk melihat seberapa banyak air asin mempengaruhi kondisi didalam sampel aspal jika dengenangi selama 5 jam.

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.17, hasil pengujian penetrasi air laut filler fly ash. Dihari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 5 jam yaitu 100 ml. di hari kedua sampel filler fly ash mengalami penurunan penyerapan air sebesar 60 ml jadi ada proses pengeringan pada sampel tersebut, di hari ketiga sampel filler fly ash penyerapan masih sama seperti hari kedua penyerapan sebesar 60 ml, di hari ke empat sampel filler fly ash mengalami kenaikan yang sangat signifikan sebesar 100 jadi terdapat penyerapan keberlanjutan pada sampel.

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.17, hasil pengujian penetrasi air laut filler normal/abu batu. Dihari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 5 jam yaitu 100 ml berarti penyerapan full pada sampel, di hari kedua sampel filler normal/abu batu mengalami penurunan penyerapan air sebesar 60 ml jadi ada proses pengeringan pada sampel tersebut, di hari ketiga sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan tetap sebesar 60 ml, di hari ke empat sampel filler normal/abu batu mengalami kenaikan sebesar 100 ml berarti ada proses penyerapan pada sampel tersebut.

2. Pengujian penterasi air laut (Uji belah) pada sampel 10 jam



Gambar 3. 20 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut

Berikut adalah penjelasan penyerapan air laut pada sampel durasi waktu 10 jam di bawah ini:

- Pada hari pertama sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 90 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 60 ml.



Gambar 3. 21 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji belah) *Filler* Fly Ash

Ini adalah sampel dengan filler normal/abu batu yang di uji belah untuk melihat seberapa banyak air asin mempengaruhi kondisi didalam sampel aspal jika digenangi selama 10 jam.



Gambar 3.22 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji belah) *Filler* normal

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.20, hasil pengujian penetrasi air laut filler fly ash. Dihadari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 10 jam yaitu 90 ml. di hari kedua sampel filler Fly Ash mengalami kenaikan penyerapan air sebesar 100 ml jadi ada proses penyerapan full pada sampel, di hari ketiga sampel filler Fly Ash mengalami hal yang sama penyerapan dengan nilai sebesar 100 ml jadi tidak ada penyerapan lebih di hari ke ketiga, di hari ke empat sampel filler Fly Ash mengalami penurunan penyerapan dengan nilai sebesar 60 ml berarti terdapat pengeringan pada sampel tersebut,

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.20, hasil pengujian penetrasi air laut filler normal/abu batu. Dihadari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 10 jam yaitu 100 ml berarti penyerapan full pada sampel, di hari kedua sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, di hari ketiga sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan tetap sebesar 100 ml, di hari ke empat sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan tetap sebesar 100 ml berarti tidak ada proses pengeringan pada sampel dari hari pertama sampai hari ke empat.

BAB IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Bersasarkan hasil penelitian dan analisis pada data diatas serta pengujian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai Karakteristik *Marshall* (Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotient* (MQ), VIM, VFB, VMA, dan *Density*) dari bahan pengganti *filler fly ash* dengan variasi kadar *filler* 4,5% mempunyai nilai stabilitas dengan rata-rata 1838.11 kg dengan nilai ketentuan berdasarkan Bina Marga 2018 Revisi II yaitu 800 kg, nilai kelelahan (*flow*) dengan rata-rata 4,25 mm dengan nilai ketentuannya yaitu 3 mm, nilai *marshall quotient* (MQ) dengan rata-rata 454,92 kg/mm dengan nilai ketentuannya yaitu >250 kg/mm, nilai VIM dengan rata-rata 6,07 % dengan nilai ketentuannya yaitu 3,5 – 5%, nilai VFB dengan rata-rata 62,34 % dengan nilai ketentuannya yaitu 65%, nilai VMA dengan rata-rata 16,13 % dengan nilai ketentuannya yaitu 16 %, dan nilai *Density* dengan rata-rata 2,38 kg/mm dengan nilai ketentuannya yaitu 2 kg/mm. Sedangkan dengan variasi kadar *filler* Abu batu/Normal dengan variasi kadar *filler* 6% mempunyai nilai stabilitas dengan rata-rata 1898,13 kg dengan nilai ketentuan berdasarkan Bina Marga 2018 Revisi II yaitu 800 kg, nilai kelelahan (*flow*) dengan rata-rata 5,13 mm dengan nilai ketentuannya yaitu 3 mm, nilai *marshall quotient* (MQ) dengan rata-rata 368,82 kg/mm dengan nilai ketentuannya yaitu >250 kg/mm, nilai VIM dengan rata-rata 2,78 % dengan nilai ketentuannya yaitu 3,5 – 5%, nilai VFB dengan rata-rata 79,66 % dengan nilai ketentuannya yaitu 65%, nilai VMA dengan rata-rata 13,18 % dengan nilai ketentuannya yaitu 16 %, dan nilai *Density* dengan rata-rata 2,46 kg/mm dengan nilai ketentuannya yaitu 2 kg/mm.
2. Pada bahan pengganti *filler fly ash* dan *filler* Abu batu/Normal tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga Revisi 2 untuk nilai VIM dan VFB. Dikarenakan Proses pemadatan aspal yang tidak dilakukan dengan baik dapat menyebabkan kekosongan atau VIM yang lebih tinggi daripada yang diinginkan dan kekosongan atau VFB yang rendah. Pemadatan yang kurang efektif dapat menciptakan pori-pori udara dan dapat meningkatkan risiko kekosongan dalam campuran aspal.

4.2 Implikasi

“ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH TERHADAP GENANGAN AIR LAUT” mencerminkan suatu penelitian yang fokus pada durabilitas aspal dengan menggunakan campuran *filler fly ash* dan metode replikasi penetrasi lokal air laut. Berikut adalah beberapa implikasi yang mungkin timbul dari penelitian ini :

1. Sifat Mekanis Campuran
Hasil penelitian dapat memberikan wawasan tentang proporsi bahan dalam campuran, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi sifat mekanis beton aspal. Penggunaan *filler fly ash* dapat memengaruhi kekuatan kompresi campuran, yang perlu dipertimbangkan dalam desain struktur yang tahan terhadap air laut.
2. Pemanfaatan Limbah Industri
Penggunaan bahan tambahan seperti *fly ash* dapat memunculkan pertanyaan terkait regulasi lingkungan. Analisis volumetrik dapat membantu dalam menilai sejauh mana campuran tersebut memenuhi standar lingkungan yang berlaku dan mungkin memberikan dasar bagi regulasi yang lebih ketat atau dukungan untuk inovasi ramah lingkungan.
3. Daya Tahan Terhadap Korosi dan Kerusakan
Air laut dapat menyebabkan korosi pada aspal dan struktur di bawahnya. Penggunaan *filler fly ash* dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap korosi dan mengurangi risiko kerusakan yang disebabkan oleh air laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Suaryana, N., 2012. Kajian Material Stone Matrix Asphalt Asbuton Berdasarkan Kriteria Deformasi Permanen. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Suaryana, N., 2015. Evaluasi Stabilitas Dinamis dan Flow Number sebagai Parameter Ketahanan Campuran Beraspal Terhadap Deformasi Permanen. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Hicks, R.G., 1991. Moisture Damage in Asphalt Concrete, NCHRP Synthesis of Highway Practice 175, TRB, NRC
- Kringos, N., 2007. Modeling of combined physical–mechanical moisture induced damage in asphaltic mixes. Ph.D. Dissertation, Delft University of Technology, ISBN 978-90-9021765-9.
- Setiadji, B. H., & Utomo, S. (2017). Effect of chemical compounds in tidal water on asphalt pavement mixture. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(2), 122-130.
- Z. Zhou, H. Li, X. Liu, W. He, Investigation of sea salt erosion effect on the asphalt-aggregate interfacial system, *Int. J. Pavement Res. Technol.* 13 (5) (2019).
- J. Wang, Y. Bai, H. Sui, X. Li, L. He, Understanding the effects of salinity on bitumen-calcite interactions, *Fuel Process. Technol.* (2020), 106668.
- J. Ma, Experimental study on performance of rubber SBS composite modified asphalt mixture under the action of salt freezing-thawing and drying-wetting cycles, Changchun Institute of Engineering.
- J. Xu, Y. Li, W. Lan, S. Wang, Shear strength and damage mechanism of saline intact loess after freeze-thaw cycling, *Cold Reg. Sci. Technol.* 164 (AUG.) (2019), 102779.1-102779.13.
- K. Zhang, Y. Luo, W. Xie, J. Wu, Evaluation of road performance and adhesive characteristic of asphalt binder in salt erosion environment, *Materials Today, Communications* 25 (4) (2020), 101593.
- Q. Guo, G. Li, Y. Gao, K. Wang, Z. Dong, F. Liu, H. Zhu, Experimental investigation on bonding property of asphalt-aggregate interface under the actions of salt immersion and freeze-thaw cycles, *Constr. Build. Mater.* 206 (2019) 590–599.
- Z. Wang, T. Zhang, M. Shao, T. Ai, P. Zhao, Investigation on snow-melting performance of asphalt mixtures incorporating with salt-storage aggregates, *Constr. Build. Mater.* 142 (JUL.1) (2017) 187–198.
- Q. Zhang, D. Wu, X. Zhang, K. Chang, Y. Wang, Effect of organic deicing agents on asphalt rheology and analysis of the mechanism, *Constr. Build. Mater.* 284 (5) (2021), 122649.
- X. Ouming, X. Shunlin, Y. Xinghao, L. Yamin, Estimation of the surface free energy and moisture susceptibility of asphalt mastic and aggregate system containing salt storage additive, *Constr. Build. Mater.* 318 (2022).
- M. Zheng, J. Zhou, S. Wu, H. Yuan, J. Meng, Evaluation of long-term performance of anti-icing asphalt pavement, *Constr. Build. Mater.* 84 (jun.1) (2015) 277-283
- T. Pan, X. He, X. Shi, Laboratory investigation of acetate-based deicing/anti-icing agents deteriorating airfield asphalt concrete, *Asph. Paving Technol.* 77 (2008) 773–793.
- Ren, X., Sancaktar E., 2019. Use of fly ash as eco-friendly filler in synthetic rubber for tire applications, *J. Clean. Prod.* 206, 374-382. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.202>.
- Rutkowska, G., Wichowski, P., Fronczyk, J., Franus, M., Chalecki, M., 2018. Use of fly ashes from municipal sewage sludge combustion in production of ash concretes. *Constr. Build. Mater.* 188, 874–883. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.08.167
- Choi, M. J., Kim, Y. J., Kim, H. J., & Lee, J. J. (2020). Performance evaluation of the use of tire-derived fuel fly ash as mineral filler in hot mix asphalt concrete. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(2), 249-258.
- Mistry, R., Roy, T.K., Effect of using fly ash as alternative filler in hot mix asphalt, *Perspectives in Science* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.061>

Giuliani, F., & Rastelli, S. (2006, August). Test methods to evaluate fuel resistance of aprons asphalt pavements in airports and heliports. In Second international airports conference: planning, infrastructure & environment, Brazil.

LAMPIRAN



LABORATORIUM UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR

PRODI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR

Jl. H. Juanda No. 15, Sidodadi, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75124 Telp. (0541) 748511

Asal Material = Lab. Teknik Sipil UMKT

Jenis Penelitian = Aspal AC-WC

Di Kerjakan Oleh = Bimantara Arya Nugraha

Perhitungan Hasil Pengujian Marshall

FILLER FLY ASH																						
Waktu Cetakan	Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	L	m	n	o	p	Koreksi Tebal	q	r	MQ
		(cm)	(%)	(%)	Berat kering (gram)	SSD (gram)	Berat dalam air (gram)	(gram)	(density)						VMA (%)	VFVA (%)	VIM (%)			(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 Jam	1	UJI PENTERASI (UJI BELAH)																				
	2	6.46	5.530	4.520	1188	1190	690	500	2.376	2.531	10.049	83.823	6.128	16.177	62.118	6.128	87	1935.05	0.94	1825.99	3.30	553.35
	3	6.38	5.530	4.520	1187	1190	691	499	2.379	2.531	10.060	83.921	6.019	16.079	62.367	6.019	83	1890.57	0.98	1850.24	5.19	356.50
		Rerata																				
									2.377					16.128	62.343	6.073				1838.11	4.23	454.92
10 Jam	1	6.34	5.530	4.520	1196	1203	712	491	2.436	2.531	10.302	85.935	3.764	14.065	73.242	3.764	89	1979.54	1.01	1995.37	5.70	350.07
	2	UJI BELAH																				
	3	6.07	5.530	4.520	1198	1201	717	484	2.475	2.531	10.468	87.323	2.208	12.677	82.379	2.208	89	1979.54	1.08	2132.95	3.90	546.91
		Rerata																				
									2.456					13.371	77.910	2.986				2064.16	4.80	448.49

t = Tebal Benda Uji

a = %Aspal Terhadap Batuan Uji (stabilitas)

b = %Aspal Terhadap Campura

c = Berat Kering Sebelum direndam

d = Berat Basah Jenuh (SSD)

e = Berat didalam Air

f = Volume (isi), (d-e)

g = Berat Isi (density) (c/f)

h = BJ Maksimum, (100:(%Agr/BJ Agr+%Agr/BJ Asp))

i = (b x g) : BJ Agregat

j = (100-b) x g : BJ Agregat

k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)

l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100-j)

m = Rongga Terisi Aspal VFB, (100 x (i/l))

n = Rongga Dalam Campuran (VIM), (100-(100 x (g/h)))

o = Pembacaan Arloji Stabilitas

p = o x Kalibrasi

q = p x Koreksi Tebal Benda

r = Flow (Kelelehan Plastis)

MQ = Marshall Quotient

Suhu Pencampuran = ± 160°C

Suhu Pematatan = ± 140°C

Suhu Waterbath = 60°C

BJ Aspal = 1,067

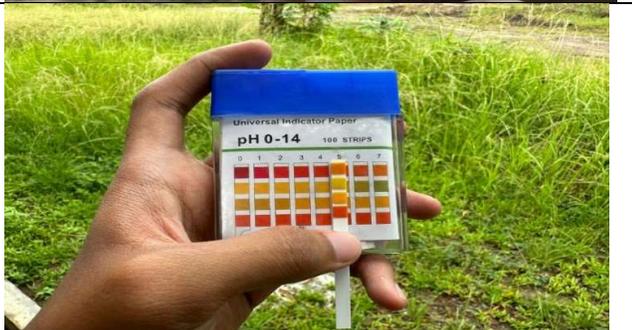
Koor Lab. Teknik Sipil UMKT

Peneliti,

Ari Athfin, S.T

Bimantara Arya Nugraha

Lampiran 2.

<p>Lokasi Pengambilan Air Laut</p>	
<p>Limbah <i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Pengganti <i>Filler</i></p>	
<p>Aspal Pen 60/70</p>	
<p>Pengujian Kadar Garam Menggunakan Hidrometer</p>	
<p>Pengujian Kadar pH Air Laut</p>	

Oven Chenda



Waterbath



Alat Uji Marshall



Penimbangan Agregat Menggunakan Timbangan Digital



<p>Proses Pembuatan Benda Uji</p>	
<p>Pemadatan Benda Uji</p>	
<p>Benda Uji <i>Filler</i> Serbuk Kaca</p>	
<p>Proses Genangin Benda Uji Menggunakan Air Laut</p>	

Proses Pengujian *Marshall*



Proses Pengujian Uji Belah Pada Sampel



Lampiran 3. Surat Peminjaman Alat



UMKKT
Fakultas
Sains dan Teknologi

Telp. 0541-748511 Fax. 0541-766832

Website <http://fst.umkt.ac.id>

email: fst@umkt.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SURAT KETERANGAN
Nomor: 005-5/KET/FST/A.5/C/2024

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Isnaini Zulkarnain, S.T., M.T
NIDN : 1103128104
Jabatan : Kepala Bidang Pembelajaran Praktik

Menerangkan bahwa mahasiswa atas nama:

Nama : Bimantara Arya Nugraha
NIM : 2011102443026
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Judul Penelitian : Studi Durabilitas Aspal AC-WC dengan Campuran Filler Fly Ash Menggunakan Metode Replikasi Penetrasi Lokal Air Laut

Untuk melaksanakan Penelitian di Laboratorium Bahan dan Material Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.

Kegiatan tersebut dilaksanakan pada 20 September s/d 19 Oktober 2023 (Jadwal terlampir).

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Samarinda, 05 Januari 2024
Kepala Bidang Pembelajaran Praktik
Fakultas Sains dan Teknologi,



Isnaini Zulkarnain, S.T., M.T
NIDN.1103128104

Lampiran. 4 Lembar Konsultasi



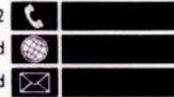
UMKT
Program Studi
Teknik Sipil

Fakultas Sains dan Teknologi

Telp. 0541-748511 Fax 0541-766832

Website <http://sipil.umkt.ac.id>

email: sipil@umkt.ac.id



LEMBAR KONSULTASI
SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Nama : Bimantara Arya Nugraha

NIM : 2011102443026

Judul : ANALISIS VOLUMETRIK BETON ASPAL FILLER FLY ASH
 TERHADAP GENANGAN AIR LAUT

No	Hari, tanggal	Uraian	Tanda tangan
1	11/9 23'	Konsultasi judul awal dan Pembahasan metode	Zul
2	14/9 23'	Konsultasi judul akhir dan Pembahasan lanjut metode	Zul
3	18/9 23'	Konsultasi dan ACC Seminar proposal	Zul
4	2/10 23'	Konsultasi BAB I dan BAB II hasil revisi	Zul
5	17/10 23'	Konsultasi BAB III metode Penetrasi	Zul
6	24/10 23'	Konsultasi BAB III metode Marshall	Zul
7	30/10 23'	Konsultasi Setelah pembuatan Sampel aspal	Zul
8	7/11 23'	Konsultasi Setelah pengujian Sampel aspal	Zul
9	13/11 23'	Konsultasi grafik uji penetrasi	Zul
10	20/11 23'	Konsultasi VIM, VMA, VFB	Zul
11	29/11 23'	Konsultasi BAB IV	Zul
12	7/12 23'	ACC Laporan lanjut pembuatan artikel	Zul



UMKT

Program Studi
Teknik Sipil

Fakultas Sains dan Teknologi

Telp. 0541-748511 Fax 0541-766832

Website <http://sipil.umkt.ac.id>

email: sipil@umkt.ac.id



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

No	Hari/ Tanggal	Uraian	Tanda tangan
13	11/12 '23	Konsultasi Penyusunan artikel	
14	19/12 '23	Konsultasi mencari VIM menggunakan microscop	
15	5/1 '24	Konsultasi Akhir artikel	
16	6/1 '24	ACC artiku	



Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Kusandi Noor, S.T., M.T
NIDN. 1101049101

Samarinda, 2024

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Rusandi Noor, S.T., M.
NIDN. 1101049101

SKR Bimantara Arya Nugraha: Analisis Volumetrik Beton Aspal Dengan Filler Fly Ash Terhadap Genangan Air Laut

by Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

Submission date: 24-Jan-2024 09:09AM (UTC+0800)

Submission ID: 2198105188

File name: BIMANTARA_ARYA_NUGRAHA_2011102443026.docx (5.03M)

Word count: 10271

Character count: 56181

SKR Bimantara Arya Nugraha: Analisis Volumetrik Beton Aspal Dengan Filler Fly Ash Terhadap Genangan Air Laut

ORIGINALITY REPORT

17% SIMILARITY INDEX	15% INTERNET SOURCES	5% PUBLICATIONS	4% STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

1	dspace.umkt.ac.id Internet Source	5%
2	repository.umsu.ac.id Internet Source	1%
3	repository.its.ac.id Internet Source	1%
4	core.ac.uk Internet Source	1%
5	jtv.itp.ac.id Internet Source	1%
6	dspace.uii.ac.id Internet Source	1%
7	123dok.com Internet Source	1%
8	www.coursehero.com Internet Source	1%
9	repository.unibos.ac.id Internet Source	<1%

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Bimantara Arya Nugraha dilahirkan di Tenggarong 01 Januari 2001 dan merupakan anak kedua dari pasangan Kuncoro Yuda Saputro dan Sarifiandha Sriananda. Penulis merupakan berkebangsaan Indonesia dan beragama Islam.

Mengawali Pendidikan Formal di Pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 01 Tenggarong (2007-2013) dan melanjutkan Pendidikan sekolah menengah di SMP Negeri 3 Tenggarong (2013-2016). Penulis melanjutkan jenjang Pendidikan formal Sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Tenggarong (2016-2019). Penulis masuk di Fakultas Sains dan Teknologi di Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur (UMKT) pada tahun 2020.

Untuk menyelesaikan Pendidikan di FST Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur penulis melakukan penelitian dengan judul “**Analisis Volumetrik Beton Aspal dengan Filler Fly Ash terhadap Genangan Air Laut**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.