TUGAS AKHIR

PENGARUH PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL MENGGUNAKAN PASIR PANTAI MARINSOW SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *AC-BC*

(THE IMPACT OF LOCAL MATERIAL UTILIZATION USING MARINSOW BEACH SAND AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE ON AC-BC CHARACTERISTICS)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Andromeda Indah Gladea Laudy
20511405

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL MENGGUNAKAN PASIR PANTAI MARINSOW SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *AC-BC*

(THE IMPACT OF LOCAL MATERIAL UTILIZATION USING MARINSOW BEACH SAND AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE ON AC-BC CHARACTERISTICS)

Disusun Oleh

Andromeda Indah Gladea Laudy
20511405

Telah diterima sebagai salah satu persayatan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 18 Februari 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**	**Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.**
NIK : 215111307	**NIK : 955110103**	**NIK :215111305**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

25/2 2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM
NIK: 095110101

TUGAS AKHIR

PENGARUH PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL MENGGUNAKAN PASIR PANTAI MARINSOW SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *AC-BC*

(THE IMPACT OF LOCAL MATERIAL UTILIZATION USING MARINSOW BEACH SAND AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE ON AC-BC CHARACTERISTICS)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Andromeda Indah Gladea Laudy
20511405

Disetujui:
Pembimbing

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T
Tanggal : 29/02 - 2025

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 18 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Andromeda Indah Gladea Laudy

(20511405)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidaya-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Pengaruh Pemanfaatan Material Lokal Menggunakan Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik *AC-BC.* Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

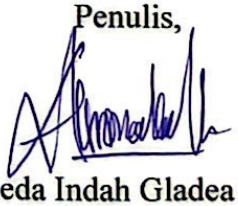
1. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan yang luar biasa, kesabaran, serta dukungan yang tiada henti selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semua arahan, kritik, dan saran yang diberikan sangat membantu penulis dalam menyempurnakan penelitian ini. Terima kasih atas kepercayaan dan kesempatan yang telah diberikan untuk berkembang.
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.

4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T.,M.T.,Ph.d.(Eng) selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Sukamto HM, S.T., Bapak Pranoto dan Mas Giri Widhiatmoko, S.T. Selaku laboran Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, yang telah membantu menyelesaikan penelitian.
6. Kedua orang tua, Alm. Bapak Ir.Rustam Laudy dan Ibu Susti Sataruno serta keluarga, yang selalu memberikan motivasi, semangat, do'a, serta dukungan yang tulus dan tiada henti kepada penulis sehingga penulis bisa sampai pada titik ini. Terima kasih atas kesabaran, kasih sayang, dan segala pengorbanan yang telah diberikan selama ini.
7. Yandi Ari Yudha Adnan, yang selalu memberikan dukungan, pengertian, dan motivasi selama penyusunan tugas akhir ini. Kehadiran dan semangat yang diberikan membuat penulis terus berjuang hingga selesai.
8. Teman-teman satu penelitian Nabila Salma, Yoki, Daffa yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Minek, Alief, Ishom, Dicep, Ibil, Fadil, Habib, Attar, Deni, Humnah, Yoga, dan Farhan yang sudah membantu dan memberikan semangat serta dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Seluruh pihak yang sudah mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Saya memohon maaf apabila terdapat kesalahan penulisan dan sebagaimana. Saya berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun orang lain.

Yogyakarta, 18 Februari 2025

Penulis,



Andromeda Indah Gladea Laudy
(20511405)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI xvii
DAFTAR SINGKATAN xviii
ABSTRAK xix
ABSTRACT xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Tinjaun Umum 6
2.2 Kinerja Campuran *AC-BC* 6
2.3 Kinerja Penggunaan Pasir Pantai Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Berbagai Jenis Campuran 7
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang 9
BAB III LANDASAN TEORI 12
3.1 Lapis Aspal Beton (LASTON) 12
3.2 Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* 13
3.3 Material Penyusun Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* 14

3.3.1 Aspal 14
3.3.2 Agregat 15
3.4 Karakteristik Lapis Perkerasan 18
3.5 Karakteristik *Marshall Test* 19
3.5.1 Stabilitas (*Stability*) 19
3.5.2 Kelelehan (*Flow*) 19
3.5.4 *Void In Mineral Agregate (VMA)* 20
3.5.5 *Void in Total Mix (VITM)* 20
3.5.6 *Void Filled with Asphalt (VFWA)* 21
3.5.7 *Masrhall Quotient (MQ)* 22
3.6 *Index of Retained Strength (IRS)* 22
3.7 *Indirect Tensile Strength (ITS)* 23
3.8 *Tensile Strength Ratio (TSR)* 24
3.9 *Cantabro Loss (CL)* 24
BAB IV METODE PENELITIAN 25
4.1 Metode dan Lokasi Penelitian 25
4.2 Pengambilan Data 25
4.2.1 Pemeriksaan Material. 25
4.2.2 Bahan Campuran Penelitian 25
4.2.3 Alat Pengujian 26
4.3 Tahapan Penelitian 27
4.3.1 Pengambilan Agregat Uji 28
4.3.2 Pengujian Sifat Fisik Agregat 28
4.4 Peralatan Penelitian 30
4.5 Jumlah Sampel dan Variasi Agregat 35
4.6 Uji *Marshall* 37
4.7 Uji *IRS* 38
4.8 Uji *ITS* 38
4.9 Uji *TSR* 39
4.10 Uji *CL* 39
4.11 Analisis Data 39

4.12 Bagan Alir atau *Flowchart* Penelitian 41
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 44
5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran 44
5.1.1 Hasil Uji Karakteristik Aspal 44
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 44
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *AC-BC* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 46
5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum 53
5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *AC-BC* pada Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow 56
5.2 Pembahasan 59
5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 59
5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar 61
5.2.3 Karakteristik Agregat Halus 62
5.2.4 Bahan Pengisi (*filler*) 63
5.2.5 Hasil Tinjauan Karakteristik *Marshall* dalam Menentukan Kadar Aspal Optimumm 63
5.2.6 Hasil Pengujian *Marshall* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC* 71
5.2.7 Hasil Tinjauan Karakteristik *IRS* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC* 81
5.2.8 Hasil Tinjauan Karakteristik *ITS* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC* 82
5.2.9 Hasil Tinjauan Karakteristik *TSR* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC* 83

5.2.10 Hasil Tinjauan Karakteristik *CL* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC* 85
5.3 Hasil Peninjauan Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Campuran *AC-BC* 86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 92
6.1 Kesimpulan 92
6.2 Saran 94
DAFTAR PUSTAKA 95
LAMPIRAN 98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu 10
Tabel 3. 1 Persyaratan Campuran Laston (*AC*) 13
Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70 15
Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Kasar 16
Tabel 3. 4 Persyaratan Agregat Halus 17
Tabel 3. 5 Gradasi Agregat Aspal Laston 18
Tabel 4. 1 Gradasi Agregat Campuran *AC-BC* 30
Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5% 32
Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5% 33
Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6% 33
Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5% 34
Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7% 34
Tabel 4. 7 Jumlah Sampel Untuk Mendapatkan Kadar Aspal Optimum 35
Tabel 4. 8 Variasi Tiap Subtitusi Agregat Halus 36
Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO 36
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70 44
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar 45
Tabel 5. 3 Pengujian Agregat Halus Clereng 45
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Agregat Halus Pantai Marinsow 45
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler* 46
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 0% 46
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 25% 47
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 50% 47
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 75% 47

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 100% 48
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari KAO 48
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil KAO 53
Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat Subtitusi 0% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,015% 53
Tabel 5. 14 Kebutuhan Agregat Subtitusi 25% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,07% 54
Tabel 5. 15 Kebutuhan Agregat Subtitusi 50% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,13% 55
Tabel 5. 16 Kebutuhan Agregat Subtitusi 75% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,20% 55
Tabel 5. 17 Kebutuhan Agregat Subtitusi 100% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,25% 56
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum 57
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengujian *IRS* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum 57
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Pengujian *ITS* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum 58
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Pengujian *TSR* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum 58
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Pengujian *CL* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum 59
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* 88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Grafik Rencana Gradasi Campuran *AC-BC* 31
Gambar 4.2 Diagram Penelitian 42
Gambar 5. 1 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 0% 50
Gambar 5. 2 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 25% 51
Gambar 5. 3 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 50% 51
Gambar 5. 4 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 75% 52
Gambar 5. 5 Pnentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 100% 52
Gambar 5. 6 Prafik Hubungan Kadar Aspal dan *VITM* 64
Gambar 5. 7 Hubungan Kadar Aspal dan *VFWA* 65
Gambar 5. 8 Hubungan Kadar Aspal dan *VMA* 66
Gambar 5. 9 Hubungan Kadar Aspal dan *Density* 67
Gambar 5. 10 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas 68
Gambar 5. 11 Hubungan Kadar Aspal dan *Flow* 69
Gambar 5. 12 Hubungan *MQ* dan Kadar Aspal 70
Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *VITM* 72
Gambar 5. 14 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *VFWA* 73
Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *VMA* 74
Gambar 5. 16 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *Density* 76
Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai Stabilitas 77
Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *Flow* 78
Gambar 5. 19 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *MQ* 80

Gambar 5. 20 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow terhadap Nilai *IRS* 81
Gambar 5. 21 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *ITS* 83
Gambar 5. 22 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow terhadap Nilai *TSR* 84
Gambar 5. 23 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow terhadap Nilai *CL* 85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 99
Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 100
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal Pen 60/70 101
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 102
Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 103
Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE 104
Lampiran 7 Pemeriksaan Berat jenis Agregat Kasar 105
Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 106
Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar 107
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir Clereng 108
Lampiran 11 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow 109
Lampiran 12 Pemeriksaan *Sand Equivalent* Pasir Clereng 110
Lampiran 13 Pemeriksaan *Sand Equivalent* Pasir Pantai Marinsow 111
Lampiran 14 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Debu 112
Lampiran 15 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 5% 113
Lampiran 16 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 5,5% 114
Lampiran 17 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 6% 115
Lampiran 18 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 6,5% 116
Lampiran 19 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 7% 117
Lampiran 20 Hasil Rekap Pengujian *Marshall* 118
Lampiran 21 Grafik Rekap Pengujian *Marshall* 119
Lampiran 22 Hasil Pengujian *Marshall* dari Hasil KAO 120
Lampiran 23 Grafik Rekap Pengujian *Marshall* 121

Lampiran 24 Hasil Pengujian *IRS* 24 Jam dengan KAO 122
Lampiran 25 Rekap Pengujian *IRS* 123
Lampiran 26 Hasil Pengujian *ITS* dari Hasil KAO 124
Lampiran 27 Hasil Pengujian *TSR* dari Hasil KAO 125
Lampiran 28 Rekap Pengujian *ITS* dan *TSR* 126
Lampiran 29 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* dari Hasil KAO 127
Lampiran 30 Rekap Pengujian *Cantabro Loss* 128

DAFTAR NOTASI

A_0 = Konstanta

a = Persentase aspal terhadap batu

b = Persentase aspal terhadap campuran

c = Berat benda uji sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (gr)

e = Berat dalam air (gr)

f = Volume (cm^3)

g = Berat isi sampel (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran

L = Persentase kehilangan berat (%)

m = Nilai rongga terisi aspal (*VFWA*) (%)

MQ = Nilai *Marshall Quetiont* (kg/mm)

M_0 = Berat sebelum abrasi (gr)

Mi = Berat setelah abrasi (gr)

n = Nilai rongga dalam campuran (*VITM*) (%)

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

P_{runtuh} = Beban puncak (kg)

Ps = kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

q = Nilai Stabilitas (kg)

S = Nilai stabilitas toleransi (kg)

S_1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

S_2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

S_1 = Rata – rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg)

S_2 = Rata – rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg)

DAFTAR SINGKATAN

CL	= *Cantabro Loss*
AC-BC	= *Asphalt Concrete – Binder Course*
ITS	= *Indirect Tensile Strength*
IRS	= *Index of Retained Strength*
KAO	= Kadar Aspal Optimum
JMF	= *Job Mix Formula*
MQ	= *Marshall Quotient*
SNI	= Standar Nasional Indonesia
TSR	= *Tensile Strength Ratio*
VITM	= *Void In The Mix*
VFWA	= *Void Filled With Aggregate*
VMA	= *Void in Mineral Aggregate*
PP	= Pasir Pantai Marinsow
PC	= Pasir Clereng

ABSTRAK

Perkerasan yang berkualitas serta memenuhi spesifikasi merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam perencanaan konstruksi jalan raya demi kenyamanan dan keselamatan pengemudi. Sebagian besar infrastruktur jalan di Indonesia menggunakan perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu *Asphalt Concrete – Binder Course* (*AC-BC*). Namun, dengan semakin meningkatnya kebutuhan material, dan sumber daya Pasir Pantai Marinsow yang sangat melimpah diperlukan alternatif lain sebagai pengganti agregat halus. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji pengaruh pemanfaatan Pasir Pantai Marinsow, yang terletak di Desa Marinsow, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara, sebagai bahan pengganti agregat halus dalam campuran *AC-BC* terhadap karakteristik *Marshall, IRS, ITS, TSR*, dan *CL*.

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan yaitu: pengujian fisik material agregat dan aspal, penentuan kadar aspal optimum pada campuran *AC-BC* dengan variasi substitusi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, pengujian karakteristik *Marshall, IRS, ITS, TSR,* dan *CL*, serta analisis, pembahasan, dan kesimpulan terhadap hasil penelitian.

Pasir Pantai Marinsow memiliki karakteristik yang halus bulat,pipih dan licin, sehingga menghasilkan berat jenis yang lebih rendah dibandingkan pasir Clereng. Seiring dengan bertambahnya proporsi Pasir Pantai Marinsow. Hal ini membuat penurunan nilai pada *Marshall Properties (*stabilitas, *VFWA, density, dan MQ),* sedangkan pada *VITM, VMA* dan *flow* mengalami kenaikan. Pada pengujian *IRS, ITS, TSR, dan CL* menghasilkan penurunan seiring dengan bertambahnya proporsi Pasir Pantai Marinsow. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pasir Pantai Marinsow dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus pada campuran *AC-BC* karena memenuhi semua spesifikasi.

Kata Kunci : *Asphalt Concrete – Binder Course* (*AC-BC*), Agregat Halus, Pasir Pantai Marinsow

ABSTRACT

Quality pavement that meets specifications is an absolute requirement that must be met in highway construction planning for the comfort and safety of drivers. Most of the road infrastructure in Indonesia uses flexible pavement, namely Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). However, with the increasing need for materials, and the extremely abundant sand resources of Marinsow Beach, another alternative is needed as a substitute for fine aggregate. Therefore, the purpose of this study is to examine the impact of the use of Marinsow Beach Sand, located in Marinsow Village, East Likupang District, North Minahasa Regency, North Sulawesi Province, as a substitute for fine aggregate in AC-BC mixture on the characteristics of Marshall, IRS, ITS, TSR, and CL.

This research was carried out through four stages, namely: physical testing of aggregate and asphalt materials, determination of optimal asphalt content in AC-BC mixtures with substitution variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%, testing of Marshall, IRS, ITS, TSR, and CL characteristics, as well as analysis, discussion, and conclusion of research results.

Marinsow Beach sand has the characteristics of smooth, round, flat and slippery, resulting in a lower specific gravity than Clereng sand. Along with the increase in the proportion of sand of Marinsow Beach. This caused a decrease in the value of Marshall Properties (stability, VFWA, density, and MQ), while in VITM, VMA and flow increased. In the IRS, ITS, TSR, and CL tests resulted in a decrease along with the increase in the proportion of Marinsow Beach sand. The results showed that Marinsow Beach Sand could be used as an alternative to fine aggregate in AC-BC mixtures because it met all specifications.

***Keywords** : Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC), Fine Aggregate, Marinsow Beach Sand*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya mempunyai peranan penting dalam memperlancar pergerakan orang, barang dan jasa serta mendukung pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Jalan raya melayani hampir 80-90% mobilitas penduduk dan arus barang, sehingga inilah sebabnya mengapa pembangunan dan pemeliharaan jalan sangat penting saat ini. Dengan semakin berkembangnya pembangunan infrastruktur di indonesia khususnya pada pembangunan jalan, serta semakin meningkatnya jumlah kendaraan setiap tahunnya, hal ini menunjukkan perlunya suatu pelayanan infrastruktur agar lantai jalan berfungsi dengan baik dan tetap dalam kondisi sempurna hingga usia layanan yang direncanakan (Subagyo dan Nana, 2023). Namun, ada beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan pada lapisan perkerasan jalan, antara lain perencanaan tipe perkerasan yang kurang tepat, penggunaan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi, kestabilan tanah dasar yang kurang, kualitas bangunan pelengkap yang tidak memadai seperti kemiringan bahu jalan yang tidak sesuai, drainase jalan yang tidak berfungsi dengan baik, serta pemeliharaan dan peningkatan kondisi jalan yang tidak teratur (Sumiati dan Hasan, 2013).

Perkerasan yang berkualitas serta memenuhi spesifikasi merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam perencanaan konstruksi jalan raya demi kenyamanan dan keselamatan pengemudi. Pada umumnya, jalan di Indonesia kini banyak menggunakan campuran aspal panas untuk berbagai keperluan, seperti pelapisan ulang, pemeliharaan, peningkatan, hingga pembangunan jalan baru. Salah satu jenis campuran aspal panas yang sering digunakan adalah lapis Beton Aspal (Laston), atau dikenal juga sebagai *AC* (*Asphalt Concrete*). Laston memiliki keunggulan lebih tahan terhadap pelelehan plastis, namun cukup rentan terhadap retak. Jenis kerusakan yang umum terjadi pada campuran laston meliputi retak dan

pelepasan butir agregat. Maka, diperlukan modifikasi campuran pada perkerasan jalan merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas infrastruktur transportasi jalan raya. Salah satunya dengan modifikasi campuran pada perkerasan *AC-BC* (*Asphalt Concrete – Binder Course*). Lapis beton aspal (Laston), yang berfungsi sebagai bahan pengikat, dikenal dengan istilah *AC-BC*. Lapis Aspal Beton *AC-BC* adalah salah satu jenis perkerasan jalan lentur yang umumnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Material-material ini dipanaskan dan dicampur pada suhu tertentu, kemudian dihamparkan dan dipadatkan menggunakan alat berat (Junaedi, 2020). Menurut Kusharto (2004) kekuatan laston sangat dipengaruhi oleh agregat, yang berkontribusi secara signifikan terhadap stabilitasnya. Agregat memiliki porsi terbesar dalam campuran, yaitu sekitar 90-95% dari total berat.

Pada konstruksi jalan umumnya material agregat halus berasal dari gunung dan sungai yang masih berbentuk batu berukuran besar, yang kemudian diproses menggunakan mesin pemecah untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil. Peningkatan kebutuhan akan infrastruktur transportasi, terutama jalan raya, memerlukan penerapan teknologi yang tepat guna menghemat sumber daya alam yang terbatas. Menurut Soepri (2012) kepulauan Indonesia terdiri dari 17.805 buah pulau yang memiliki garis pantai sepanjang lebih dari 80.000 km bahkan mencapai 106.000 km. Sementara itu, luas lahan pasir pantai di Indonesia mencapai 1.060.000 ha. Menurut Ruiz, dkk (2020) jika material alami ini dimasukan dalam pengembangan sebagai bagian dari kebijakan pemanfaatan material daerah lokal, tentu akan menjadi alternatif sebagai pengganti agregat halus yang cocok untuk perkerasan jalan di wilayah pesisir yang sulit untuk mencari agregat alam. Sukamto (2020) dalam penelitiannya menganalisis penggunaan pasir Sungai Progo sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-WC* menggunakan parameter *Marshall* yang menunjukkan bahwa agregat halus dari Sungai Progo sesuai dengan kadar aspal optimum 5,85%, dan proporsi pengganti pasir Sungai Progo yang optimal sebesar 15%, memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010.

Penelitian mengenai pasir pantai sebagai pengganti agregat halus sebelumnya telah dilakukan oleh Salsabila, dkk (2022), Arifiardi, dkk (2016), Pataras, dkk (2017) bahwa penggunaan pasir pantai terhadap beberapa jenis campuran yang berbeda menghasilkan peningkatan pada beberapa sifat *Marshall* berdasarkan berat jenis pasir pantainya, nilai *MQ* dan stabilitas akan menurun pada subtitusi pasir pantai 100%. Selain itu, lama rendaman mempengaruhi nilai keawetan terhadap campuran (Ramadhan dan Fauziah, 2020).

Berdasarkan masalah yang sudah diuraikan dan keberadaan Pasir Pantai Marinsow yang terletak di Desa Marinsow, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara yang sangat berlimpah dan tidak digunakan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh pemanfaatan material lokal menggunakan Pasir Pantai Marinsow sebagai subtitusi agregat halus terhadap karakteristik *AC-BC*. Kemudian akan dilakukan pengujian *Marshall*, *Index of Retainded Strength (IRS), Indirect Tensile Strenght (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR),* dan *Cantabro Loss (CL)* dengan harapan hasil pada penelitian ini dapat memberikan alternatif pemanfaatan dalam penggunaan material lokal secara optimal untuk memperkuat lapis struktur perkerasan jalan lentur khususnya *AC-BC*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sifat fisik dari Pasir Pantai Marinsow sebagai subtitusi agregat halus pada campuran perkerasan *AC-BC*?
2. Bagaimana kinerja campuran *AC-BC* menggunakan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas*, Marshall quetient, VITM, VFWA, VMA, density*?
3. Bagaimana kualitas campuran *AC-BC* pengguanaan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat terhadap nilai durabilitas dengan uji *IRS*?

4. Bagaimana pengaruh campuran penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus terhadap kinerja campuran *AC-BC* terhadap kuat tarik tak langsung campuran dengan uji *ITS*?
5. Bagaimana pengaruh campuran *AC-BC* penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus pada campuran aspal *AC-BC* terhadap nilai *TSR*?
6. Bagaimana pengaruh penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-BC* terhadap disintegrasi akibat benturan dengan uji *CL*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat fisik Pasir Pantai Marinsow pada campuran perkerasan *AC-BC*.
2. Mengetahui kinerja dan kualitas karakteristik *Marshall* campuran *AC-BC* pada penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai subtitusi agregat halus.
3. Mengetahui kinerja dan kualitas campuran *AC-BC* penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai subtitusi agregat halus terhadap nilai durabilitas campuran dengan uji *IRS*.
4. Mengetahui nilai kuat tarik tidak langsung campuran dengan uji *ITS* pada penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai subtitusi agregat halus terhadap kinerja campuran *AC-BC*.
5. Mengetahui pengaruh campuran penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-BC* terhadap nilai *TSR*.
6. Mengetahui ketahanan terhadap disintergrasi akibat benturan pada campuran *AC-BC* dengan uji *CL*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang luas tentang ilmu teknologi konstruksi khususnya pada karakteristik campuran *AC-BC*

di Indonesia. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif penggunaan pasir pantai dalam pengembangan teknologi infrastruktur jalan yang memanfaatkan penggunaan material lokal.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Campuran yang digunakan yaitu campuran *AC-BC*.
2. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pertamina Penetrasi 60/70.
3. Kandungan mineral yang terkandung di dalam pasir pantai pada penelitian ini tidak ditinjau.
4. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Clereng, Kulonprogo yang ada di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Agregat halus yang akan digunakan adalah Pasir Pantai Marinsow, Minahasa, Sulawesi Utara.
6. Pengujian *Marshall, IRS, ITS, TSR*, dam *CL*, dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
7. Variasi subtitusi agregat halus yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap aspal pen 60/70 dengan variasi kadar aspal optimum 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.
8. Penelitian ini mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018.
9. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjaun Umum

Penelitian ini memerlukan literatur untuk memperbaiki penyajian masalah yang telah dijelaskan sebelumnya mengenai pengaruh penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus terhadap sifat *AC-BC*. Kajian-kajian dalam literatur ini diambil dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini sebagai acuan.

2.2 Kinerja Campuran *AC-BC*

AC-BC , lapisan ini merupakan bagian dari lapisan permukaan yang terletak di antara lapisan pondasi atas (*Base Course*) dan lapisan aus (*Wearing Course*), dengan gradasi agregat yang rapat atau menerus. Jenis lapisan ini umumnya digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat. Menurut Refi (2015) Lapisan ini tidak secara langsung terpengaruh oleh kondisi cuaca, namun tetap harus memiliki ketebalan dan kekakuan yang memadai untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang diteruskan ke lapisan di bawahnya, yaitu *Base* dan *Sub Grade*. Stabilitas merupakan karakteristik utama yang paling penting dalam campuran lapisan *AC-BC* ini.

Menurut Pratama dan Najihan (2020) bahwa stabilitas dan durabilitas campuran *AC-BC* sangat bergantung pada kualitas agregat, kadar aspal, serta pengendalian proses produksi dan pemadatan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Jaya, dkk (2018) yaitu Penggunaan pasir laut sebagai filler dalam semua variasi masih dapat diterapkan, meskipun tidak semua variabel karakteristik *Marshall* menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi normal tanpa penggantian. Seiring dengan bertambahnya jumlah pasir laut yang digunakan sebagai filler, jumlah kadar aspal yang diperlukan dalam campuran juga semakin

meningkat. Dalam penelitian ini, kadar aspal untuk variasi 100% meningkat sebesar 2% dibandingkan dengan kondisi tanpa penggantian.

2.3 Kinerja Penggunaan Pasir Pantai Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Berbagai Jenis Campuran

Di zaman sekarang ini, penggunanan material lokal harus dimaksimalkan untuk mendukung pengembangan kawasan setempat, termasuk penggunaan pasir pantai sebagai alternatif material pengganti. Purbanto dkk, (2023) melakukan penelitian Karakteristik *HRS-WC*, diperoleh hasil penelitian bahwa pasir pantai secara fisik tidak memenuhi karena permukaan pasir yang sangat halus. Tetapi, secara garis besar karakteristik campuran sudah memenuhi spesifikasi. Namun, pada variasi subtitusi 100% pasir pantai, nilai *VIM* mendekati minimum. Shabrina (2019) juga melakukan Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala sebagai bahan tambah campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* terhadap *Marshall Properties* dan nilai struktural, analisis *Marshall properties* pada variasi Pasir Pantai Kemala, nilai stabilitas pada proporsi 0%, 10%, dan 15% memenuhi spesifikasi, sedangkan pada proporsi 30% tidak memenuhi spesifikasi, nilai *flow* semakin menurun, sedangkan nilai *VMA*, dan nilai *VITM* mengalami penurunan, nilai *VFWA* mengalami kenaikan. Penelitian keduanya menggunakan jenis campuran yang berbeda dengan jenis pasir yang sama yaitu pasir pantai, diperoleh hasil yang tidak jauh berbeda yaitu terjadi kenaikan stabilitas yang memenuhi persyaratan. Namun, hanya pada beberapa variasi saja dan kemudian terjadi penurunan pada nilai *flow.*

Prasetyo dkk (2021), Riyanto dan Salim (2021) melakukan analisis perbandingan pasir laut dan pasir sungai sebagai agregat halus campuran *(AC-BC)* dengan uji *Marshall*, menyatakan bahwa penggunaan agregat halus dari pasir laut dan pasir sungai, yang memenuhi persyaratan karakteristik *Marshall* berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga, (2010) hanya pada kadar aspal tertentu. Menurut Ramadhan dan Fauziah, (2020) nilai *Cantabro* seluruh varian pengganti pasir Pantai Indrayanti memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu < 20. Nilai durabilitas pada uji *IRS* menunjukkan bahwa durabilitas bertambah jika dilakukan

rendaman selama 24 jam sejalan dengan bertambahnya kadar subtitusi pasir, sehingga sesuai spesifikasi. Namun berbeda dengan rendaman selama 48 jam, semua variasi subtitusi pada agregat halus yang menggunakan pasir pantai mengalami penurunan nilai keawetan yang mana lama perendaman mempengaruhi nilai keawetan campuran. Penelitian Junaedi (2020) penggunaan Pasir Kuarsa dalam campuran Laston *AC-BC* memengaruhi kestabilan *Marshall*, dengan persentase 7,5% untuk nilai stabilitas. Hal ini disebabkan oleh permukaan pasir kuarsa yang sedikit keras, memiliki derajat kekerasan yang bagus agar bisa meningkatkan daya rekat terhadap permukaan jalan dan memperkuat ketahanan *Marshall*.

Dewi dan Ansyari (2023) melakukan penelitian pengaruh pasir pantai sebagai pengganti pasir umumnya terhadap *AC-BC*, dengan menggunakan bahan ikat aspal pen 80/100 diperoleh stabilitas *Marshall* pada variasi gradasi agregat 75% pasir pantai sebesar 1140 kg dengan lelehan (*flow*) 34%. Maka pasir pantai memenuhi spesifikasi SNI dan dapat digunakan sebagai bahan alternatif pada perkerasan AC-BC. Penelitian Setiyo dkk, (2020) yaitu pengaruh pasir Pantai Sipelot sebagai pengganti agregat 0/5 terhadap campuran *HRS-WC,* menggunakan bahan ikat pen 60/70 dengan subtitusi pasir pantai 25%, 50%, 75%, dan 100%, diperoleh hasil menggunakan metode analisis anova yaitu F*counter* > Ftabel yang berarti adanya pengaruh yang relevan pada setiap penambahan variasi pasir pantai terhadap nilai stabilitas, sedangkan untuk *flow* tidak nampak adanya perubahan yang signifikan, sehingga hasil ini memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.

Hamdani dkk, (2020) melakukan penelitian menggunakan Pasir Suger sebagai agregat halus terhadap karakteristik *AC-WC,* penelitian menggunakan 5 variasi dengan kadar aspal 5%-7% diperoleh bahwa semakin tinggi penambahan pasir suger dan kadar aspal maka nilai stabilitas semakin rendah. Hal ini terjadi karena subtitusi pasir suger mengakibatkan lelehan sehingga nilai *flow* meningkat. Namun, menurunkan nilai *VIM* dan *VMA* dan masih memenuhi persyaratan Bina Marga 2018. Setiap pasir pantai memiliki karakteristik yang berbeda sama halnya dengan pasir alam lainnya, karena kandungan mineral yang terkandung di dalamnya maupun sifat fisiknya. Sehingga hasil penelitian yang didapatkan tidak jauh berbeda

yaitu mengalami kenaikan pada nilai *Marshall* dan terjadi penurunan pada nilai *flow* ketika pada variasi subtitusi agregat halus 75% ke atas. Maka, tidak menutup kemungkinan Pasir Pantai Marinsow dapat memenuhi persyaratan nilai *Marshall*. Sehingga dibutuhkan perbandingan sebagai dasar penelitian yang akan dilaksanakan. Penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu seperti yang sudah dijabarkan diatas, memiliki perbedaan hasil yang cukup signifikan

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbandingan penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya yang sejenis akan disajikan dalam Tabel 2.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu

No	Aspek	Setiyo, dkk (2020)	Shabrina, dkk (2019)	Ramadhan dan Fauziah (2020)	Prasetyo dkk, (2021)	Dewi dan Ansyari (2023)	Junaedi 2020, (2020)	Peneliti
1.	Judul	Pengaruh Pasir Pantai Sipelot Sebagai Pengganti Agregat 0/5 Terhadap Campuran *HRS-WC*	Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala Sebagai Bahan Tambah Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* Terhadap *Marshall Properties* dan Nilai Struktural	Analisis Penggunaan pasir Pantai Indrayanti Sebagai Subtitusi agregat halus terhadap kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)*	Analisis Perbandingan Pasir Laut Dan Pasir Sungai Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas *(AC – BC)* Dengan Pengujian *Marshall*	Pengaruh Pasir Pantai Sebagai Pengganti Pasir Umumnya Terhadap *AC-BC*	Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Pengganti Agregat Halus Untuk Perkerasan Laston *AC-BC*	Pengaruh pemanfaatan Material Lokal Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik *AC-BC*
2.	Jenis Campuran	*HRS-WC*	*AC-WC*	*SMA*	*AC-BC*	*AC- BC*	*AC-BC*	*AC-BC*
3.	Jenis Aspal	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 80/100.	Pen 60/70	Pen 60/70
4.	Pengganti Agregat Halus	Pasir Pantai Sipelot	Pasir Pantai Kemala	Pasir Pantai Indrayanti	Pasir Laut dan Pasir Sungai	Pasir Pantai	Pasir Kuarsa	Pasir Pantai Marinsow
5.	Pengujian	*Marshall*	*Marshall*	*Marshall, ITS, IRS, CL*	*MQ*	*Marshall*	*Marshall*	*Marshall, ITS, IRS,TSR, CL*

Sumber : Setiyo, dkk (2020), Shabrina, dkk (2019), Ramadhan dan Fauziah (2020), Prasetyo, dkk (2021), Dewi dan Ansyari (2023), Junaedi (2020)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu

No	Aspek	Setiyo, dkk (2020)	Shabrina, dkk (2019)	Ramadhan dan Fauziah (2020)	Prasetyo, dkk (2021)	Dewi dan Ansyari (2023)	Junaedi (2020)	Peneliti
6.	Hasil	Diketahui bahwa pada variasi kadar pasir pantai 25% nilai *MQ* terus mengalami penurunan hingga pada variasi 100% , hal ini terjadi karena semakin bertambahnya kadar variasi pasir pantai sebagai pengganti agregat 0/5 pada lapis permukaan maka nilai *MQ* pun akan semakin mengalami penurunan. Namun, hasil penelitian masih memenuhi persyaratan Bina Marga 2018	Hasil analisis *Marshall properties* pada variasi pasir pantai Kemala, Nilai stabilitas pada proporsi 0%, 10%, dan 15% memenuhi spesifikasi, sedangkan pada proporsi 30% tidak memenuhi spesifikasi, nilai *flow* semakin menurun, sedangkan nilai *VMA*, dan nilai *VITM* mengalami penurunan, nilai *VFWA* mengalami kenaikan.	Hasil pengujian nilai *Cantabro loss* pada semua variasi substitusi pasir Pantai Indrayanti memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu < 20 Nilai durabilitas pada uji IRS mengalami kenaikan nilai durabilitas pada perendaman 24 jam seiring bertambahnya variasi substitusi pasir, sehingga sudah sesuai spesifikasi..	Hasil untuk pasir laut tanpa dicuci dengan kadar aspal 4,5% memenuhi spesifikasi bina marga 2010 dengan nilai *Marshall* 318. Untuk pasir laut dicuci dengan kadar aspal 4,5% memenuhi spesifikasi bina marga 2010 dengan nilai *Marshall* 399. Untuk pasir sungai dengan kadar aspal 4,0% memenuhi spesifikasi bina marga 2010 *Marshall* 444.	Diperoleh stabilitas *Marshall* pada variasi gradasi agregat 75% pasir pantai sebesar 1140 kg dengan lelehan (flow) 34%. Maka pasir pantai memenuhi spesifikasi SNI dan dapat digunakan sebagai bahan alternatif pada perkerasan AC-BC.	Studi ini menemukan bahwa penggunaan campuran Pasir Kuarsa pada nilai *density* dan Stabilitas mengalami kenaikan pada kadar 7,5%, *VMA* dan *VITM* terjadi penurunan pada kadar tertentu. Sedangkan untuk *VFWA, flow dan MQ* naik pada kadar 7,5%	Hasil dari subtitusi Pasir Pantai Marinsow diketahui bahwa angka stabilitas dan *MQ* terjadi penurunan, sedangkan nilai *flow* meningkat. Untuk nilai *VITM* dan *VMA* juga terjadi peningkatan, disisi lain, nilai *VFWA* dan Density menurun seiring bertambahnya subtitusi Pasir Pantai Marinsow. Pengujian *IRS*, *ITS*, dan *TSR* terjadi penurunan, sebaliknya, *CL* terjadi peningkatan kehilangan berat.

Sumber : Setiyo, dkk (2020), Shabrina, dkk (2019), Ramadhan dan Fauziah (2020), Prasetyo, dkk (2021), Dewi dan Ansyari (2023), Junaedi (2020)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Aspal beton (*Asphalt Concrete*) adalah salah satu jenis perkerasan lentur yang banyak digunakan di Indonesia. Aspal beton merupakan lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi menerus (*well graded*). Campuran ini diproses dengan cara dipanaskan, dihamparkan, dan dipadatkan pada suhu tertentu.

Laston (*AC*) terdiri dari tiga jenis campuran, yaitu laston lapis aus (*AC-WC*), laston lapis antara (*AC-BC*), dan laston lapis pondasi (*AC-Base*), dengan ukuran maksimum agregat untuk masing-masing campuran sebesar 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm. Setiap jenis campuran *AC* yang menggunakan aspal polimer atau aspal yang dimodifikasi dengan aspal alam dikenal sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified* (Departemen Pekerjaan Umum, 2010).

Pembuatan lapisan Aspal Beton (LASTON) bertujuan untuk menciptakan lapisan permukaan atau lapisan pengikat (*binder*) pada perkerasan jalan. Lapisan ini dirancang untuk memberikan daya dukung yang signifikan serta berfungsi sebagai lapisan kedap air guna melindungi struktur di bawahnya. Aspal beton terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material ini dicampur pada suhu tertentu di instalasi pencampur, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran disesuaikan dengan jenis aspal yang digunakan, biasanya sekitar 145–155 derajat Celsius untuk semen aspal, sehingga campuran ini dikenal sebagai Aspal Beton Panas atau *Hotmix*. Persyaratan campuran lapis aspal beton dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Persyaratan Campuran Laston (*AC*)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0		
	Maks	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (*VMA*) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas *Marshall* (Kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas *Marshall* Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ºC	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2		

3.2 Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course*

Campuran *AC-BC* merupakan salah satu lapisan penting dalam struktur perkerasan jalan lentur yang berfungsi sebagai lapisan pengikat. Campuran ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal sebagai bahan pengikat, yang dicampur pada suhu tinggi untuk membentuk material homogen. Lapisan ini berperan penting dalam mentransfer beban lalu lintas dari lapisan permukaan ke lapisan di bawahnya dengan tetap mempertahankan stabilitas dan daya dukung. Ketebalan minimum yang dianjurkan untuk *AC-BC* adalah 5 cm, dan ketebalan ini harus memadai untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang diteruskan ke lapisan pondasi dan tanah dasar (*subgrade*).

Karakteristik utama *AC-BC* mencakup stabilitas, durabilitas, kekakuan, dan fleksibilitas. Stabilitas memastikan bahwa campuran mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang berulang, sedangkan durabilitas menunjukkan kemampuan campuran untuk bertahan terhadap pengaruh lingkungan seperti cuaca dan perubahan suhu. Fleksibilitas pada *AC-BC* memberikan kenyamanan berkendara dengan mengurangi dampak guncangan, sementara kekakuan yang

cukup memastikan distribusi beban yang optimal ke lapisan di bawahnya. Campuran ini juga dirancang untuk memiliki gradasi agregat yang rapat, sehingga menghasilkan struktur yang stabil dan mampu menahan beban lalu lintas berat dengan performa yang baik dalam jangka panjang.

3.3 Material Penyusun Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course*

Material utama yang dirancang untuk memenuhi spesifikasi teknis guna mendukung performa lapisan perkerasan jalan. Material penyusunnya meliputi, agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, bahan ikat aspal, dan bahan tambah lainnya. Gradasi dan proporsi material disesuaikan dengan spesifikasi teknis untuk memastikan bahwa campuran memenuhi kriteria stabilitas, durabilitas, dan fleksibilitas yang dibutuhkan dalam konstruksi perkerasan jalan.

3.3.1 Aspal

Aspal merupakan bahan hidrokarbon yang berbentuk padat pada suhu ruang, bersifat termoplastik. Aspal yang dipanaskan akan meleleh hingga mencapai suhu tertentu dan kemudian menjadi padat pada suhu yang lebih rendah. Bersama agregat, aspal menjadi material penyusun campuran permukaan jalan. Aspal merupakan bahan termoplastik yang digunakan sebagai bahan pengikat, berwarna hitam atau coklat tua, mengandung bitumen sebagai bahan utamanya. Bitumen merupakan bahan pengikat yang diperoleh dari produk alami atau buatan. Berdasarkan jenisnya aspal di bedakan menjadi 3, yaitu sebagai berikut.

a. Aspal keras (*asphalt cement*)

   Merupakan aspal yang digunakan dalam keadaan panas dan cair. Aspal keras berbentuk atau bersifat padat dalam situasi penyimpanan (temperatur ruang). Aspal yang sering digunakan di Indonesia adalah aspal penetrasi 60/70 atau 80/100.

b. Aspal cair (*cut back asphalt*)

   Campuran aspal yang digunakan dalam keadaan dingin dan cair, untuk keperluanlapis resap pengikat (*prime coat*).

c. Aspal emulsi

   Aspal emulsi merupakan campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi

untuk memperlambat pemisahan. Aspal ini bisa digunakan dalam situasi panas maupun dingin. Aspal emulsi biasanya dapat digunakan pada campuran dingin.

Pada umumnya jenis aspal yang sering digunakan yaitu jenis aspal minyak, salah satunya yaitu aspal penetrasi 60/70. Berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 terdapat syarat yang harus dipenuhi untuk aspal *AC* 60/70, berikut Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Pen 60/70.

Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujiam	Metode Pengujian	Aspal Pen 60/70
1	Penetrasi pada 25º (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	55-68
2	Viskositas Kinematis 135 ºC (cSt)	ASTM D2170-10	≤ 3000
3	Titik lembek (ºC)	SNI 2434:2011	≥ 49
4	Daktilitas pada 25ºC (cm)	SNI 2432:2011	≥100
5	Titik nyala (ºC)	SNI 2433:2011	≥ 232
6	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1
8	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (ºC)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	≤ 2,2
9	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	
	Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RFOT (SNI-03-6835-2002) :		
10	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
11	Penetrasi pada 25ºC (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
12	Daktilitas 25ºC (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber : Bina Marga (2018)

3.3.2 Agregat

Agregat merupakan kumpulan berupa batu pecah, kerikil, pasir atau mineral yang lainnya, yang didapat dari hasil alam atau buatan. Manfaat agregat pada campuran aspal itu sendiri ialah menjadi penyusun yang dapat memberikan stabilitas pada campuran. Agregat menjadi komposisi atau penyusun pada lapisan perkerasan jalan yang mengandung 90% – 95% agregat yang berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat yang berdasarkan persentase volume.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2018), agregat berdasarkan

butirannya dibagi 2 macam yaitu agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu agregat yang tertahan saringan atau yang ukuran butirannya lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm). Agregat kasar yangdigunakan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bebas dari bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Persyaratan agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian			**Standar**	**Nilai**
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12 %
	Magnesium sulfat			Maks. 18 %
Abrasi dengan Mesin *Los Angeles*	Campuran *AC* Modifikasi dan *SMA*	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6 %
		500 putaran		Maks. 30 %
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi	100 putaran		Maks. 8 %
		500 putaran		Maks. 40 %
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butiran Kasar Agregat Kasar	*SMA*		SNI 7619:2012	100/90 *)
	Lainnya			95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong (**)	*SMA*		SNI 8287:2016	Maks. 5 %
	Lainnya			Maks. 10 %
Material Lolos Saringan No. 200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber : Bina Marga (2018)

Catatan:

(*) 100/95 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai mukabidang pecah dua atau lebih.

(**) 95/90 menunjukan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

b. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Pasir dapat digunakan dalam campuran aspal sebagai agregat halus dengan bahan yang bersih, bebas dari lempung, atau bebas dari bahan yang organic lainnya. Fraksi agregat halus dari pecahan mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar sehingga gradasi gabungan dan persentase pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Persyaratan agregat halus yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Persyaratan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Material Lolos Saringan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%
Gumpalan Lempung dan Kumpalan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Sumber : Bina Marga (2018)

c. Gradasi

Gradasi agregat didapat dari hasil analisa saringan atau ayakan dengan menggunakan satu set saringan, saringan yang paling kasar diletakkan di bagian atas dan yang halus diletakkan di bagian paling bawah. Gradasi campuran Aspal Laston (AC), yang ditunjukkan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Gradasi Agregat Aspal Laston

Ukuran Ayakan	% Berat yang Lolos			
	Laston (*AC*)			
ASTM	(mm)	*WC*	*BC*	*Base*
$1\ 1/2$''	37.5	-	-	100
1''	25	-	100	90-100
3/4''	19	100	90-100	76-90
1/2''	12.5	90-100	75-90	60-78
3/8''	9.5	77-90	66-82	52-71
No.4	4.75	53-69	46-64	34-54
No.8	2.36	33-53	30-29	26-41
No.16	1.18	21-40	18-38	13-30
No.30	0.6	14-30	12-28	10-22
No.50	0.3	9-22	7-20	6-15
No.100	0.15	6-15	5-13	4-10
No.200	0.075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Bina Marga 2018

3.4 Karakteristik Lapis Perkerasan

Karakteristik lapisan perkerasan adalah sifat-sifat yang harus dimiliki oleh suatu lapis perkerasan jalan, sifat tersebut yaitu stabil dalam menahan beban, awet atau mempunyai masa pakai yang lama, mudah di kerjakan dan sebagainya. Hal ini sejalan dengan pendapat Sukirman (2003) bahwa karakteristik lapis perkerasan sebagai berikut.

a. Stabilitas *(Stability).*
b. Keawetan *(Durability).*
c. Fleksibilitas.
d. Ketahanan terhadap kelelahan *(Fatique resistance).*

e. Kedap Air *(Impermiability)*.

f. Ketahananan terhadap geser *(Skid resistance)*.

g. Mudah dikerjakan *(Workability)*.

3.5 Karakteristik *Marshall Test*

Sifat uji *Marshall* pada saat pengujian campuran aspal dapat diukur dengan menggunakan parameter pengujian berikut.

3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah suatu campuran aspal sebagai bahan perkerasan jalan mampu untuk menahan deformasi yang terjadi akibat dari beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Menurut Sukirman (2003), stabilitas yang tinggi tidak terlalu baik pada perkerasan karena akan menjadi kaku. Nilai stabilitasnya diketahui dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*.

Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$q = p \times s \times 0{,}4536 \tag{3.1}$$

dengan:

q = stabilitas (kg)

p = pembacaan arloji stabiilitas x kalibrasi alat,

s = koreksi tebal benda uji, dan

0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg.

3.5.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) merupakan besarnya deformasi pada benda uji yang terjadi pada awal pembebanan yang mengakibatkan stabilitas menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas, gradasi agregat, pemadatan danpermukaan pada agregat. Angka *flow* diperoleh dari hasil pembacaan arloji yang menunjukkan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.5.3 Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan merupakan nilai berat volume yang mewakili kepadatan campuran agregat aspal. Campuran dengan nilai kepadatan yang tinggi lebih mampu menahan beban, karena rongga dalam campuran menjadi lebih kecil dan partikel agregat akan mempunyai bidang kontak yang besar, sehingga gesekan antar

partikel menjadi lebih besar dan menimbulkan impermeabilitas campuran terhadap udara dan air, sehingga akan sulit teroksidasi.

Nilai kepadatan dapat dihitung dengan Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.2)$$

$$f = d - e \quad (3.3)$$

Keterangan :

g = nilai *density* (gr/cc),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = berat benda uji dalam keadan jenuh / ssd (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm^3)

3.5.4 *Void In Mineral Agregate (VMA)*

VMA adalah persentase rongga udara yang ada di antara partikel agregat dalam campuran agregat aspal yang dipadatkan. *VMA* dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *VMA* antara lain ukuran partikel (komposisi campuran agregat ukuran diameter partikel terbesar), tekstur agregat, kandungan aspalten, dan daya serap air agregat.

Nilai *VMA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.4 dan 3.5 berikut.

$$\lfloor = 100 - \mathrm{j} \quad (3.4)$$

$$j = \frac{(100-b)x\ g}{Bj\ Agregat} \quad (3.5)$$

Keterangan:

$\lfloor$ = nilai *VMA* (%),

b = presentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = berat isi sampel (gr/cc).

3.5.5 *Void in Total Mix (VITM)*

VITM adalah presentase rongga yang terdapat dalam volume total campuran. Nilai *VITM* yang semakin tinggi mengakibatkan semakin besar rongga dalam campuran. Hal ini dapat menyebabkan air masuk ke dalam rongga-rongga

campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi, dan sapat mengakibatkan berkurangnya kadar aspal yang terdapat pada campuran. Dengan berkurangnya kadar aspal dalam campuran perkerasan mengakibatkan terlepasnyabutiran-butiran pada agregat serta terjadi pengelupasan pada permukaan lapis.

Nilai *VITM* dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut.

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \tag{3.6}$$

$$h = 100 - \frac{100}{\frac{\%Agregat}{BJ\ Agregat} + \frac{\%Aspal}{BJ\ Aspal}} \tag{3.7}$$

Keterangan :

n = nilai *VITM,*

g = berat isi sampel (gr/cc),dan

h = berat jenis maksimum teoritis campuran.

3.5.6 *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

VFWA merupakan persentase rongga terisi aspal pada suatu campuran aspal setelah mengalami pemadatan. Faktor yang mempengaruhi adalah jumlah dan suhu pemadatan, distribusi ukuran partikel target dan penyerapan aspal mentah dan agregat. Nilai *VFWA* mempengaruhi ketahanan campuran terhadap udara dan air serta sifat elastis campuran, sehingga akan menentukan kestabilan, ketahanan, dan kelenturan campuran. Nilai *VFWA* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya bleeding dan jika terlalu rendah dapat menyebabkan campuran menjadi keropos (tidak kedap air dan udara) karena lapisan film aspal tipis sehingga rentan retak pada beban berat.

Nilai *VFWA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 sampai 3.12 berikut.

1. Presentase aspal terhadap campuran

$$h = \frac{a}{100+a} \times 100 \tag{3.8}$$

Keterangan :

a = persentase aspal terhadap batuan, dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

2. Presentase aspal terhadap agregat

$$m = 100\times\frac{i}{\text{l}} \tag{3.9}$$

$$I = \frac{b\times g}{BJ\ Aspal} \tag{3.10}$$

$$\text{l} = 100 - \text{j} \tag{3.11}$$

$$j = \frac{(100-b)\times g}{BJ\ Agregat} \tag{3.12}$$

Keterangan:

m = VFWA (%),

g = berat isi sampel (gr/cc), dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

3.5.7 *Masrhall Quotient (MQ)*

MQ adalah hasil bagi atau perbandingan antara stabilitasdengan nilai *flow*. Uji *Marshal Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas pada campuran perkerasan. Semakin tinggi nilai *Marshall Quotient* maka campuran semakin kaku, apabila nilai *Marshall Quotient* rendah maka campuran semakin lentur Nilai *MQ* dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \tag{3.13}$$

Keterangan :

q = nilai stabilitas (kg),dan

r = nilai flow (mm).

3.6 *Index of Retained Strength (IRS)*

Uji perendaman *Marshall* dimaksudkan untuk mengetahui derajat ketahanan atau perubahan sifat suatu campuran asoal akibat kerusakan yang disebabkan oleh air, suhu, dan cuaca. Sebagai bagian dari penilitan, subjek dilakukan simulasi perendaman 0,5 jam (perendaman standar dengan 24 jam (stabilitas perendaman) yang dinyatakan dalam persentase (%) disebut *Residual Stability /IRS.*

IRS atau stabilitas *Marshall* sisa dilakukan untukmengetahui daya tahan campuran aspal terhadap kerusakan oleh pengaruh air karena perendaman. Syarat menurut Bina Marga nilai minimum Indeks kekuatan sisa adalah sebesar 90 %. Setelah dapat nilai stabilitas dari pengujian perendaman, lalu melakukan perhitungan nilai *IRS* menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$IRS = \frac{s1}{s2} \times 100 \quad (3.14)$$

Keterangan :

S_1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg)

S_2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

3.7 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Metode uji tarik tidak langsung dilakukan untuk mengetahui daya dukung beton aspal berupa gaya Tarik. Dilakukan pada benda uji berbentuk silinder. Pengujian ini hamper sama dengan pengujian *Marshall*, bedanya pengujian Tarik tidak langsung tidak menggunakan cincin uji melainkan menggunakan pelat cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian pengepresan *Marshall*. Pengukuran kuat Tarik berhenti apabila jarum pengukur beban berbalik arah atau berlawan arah jarum jam.

Mengacu pada SNI 6753: 2015, melakukan perendaman benda uji selama ± 0,5 jam agar menjadi jenuh dan 24 jam dengan suhu ± 60ºC. Nilai *ITS* dapat dihitung dengan Persamaan 3.15 berikut.

$$ITS = \frac{p\ runtuh}{h} \times Ao \quad (3.15)$$

Keterangan:

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm^2),

P_{Runtuh} = beban puncak (kg),

H = tinggi sampel (cm), dan

Ao = kostanta (tabel Ao terlampir pada lampiran).

3.8 *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *TSR* didapatkan dari perbandingan *nilai ITS* setelah melalui setiap rendaman pada suhu 60°C dan tanpa rendaman lalu dikalikan angka 100. Sehingga didapatkan Persamaan 3.16 berikut.

$$\text{TSR} = \frac{S_2}{S_1} \text{ x } 100 \tag{3.16}$$

Keterangan :

S_1 = Rata – rata nilai *ITS* setelah rendaman selama 0,5 jam (kg)

S_2 = Rata – rata nilai *ITS* setelah rendaman selama 24 jam (kg)

3.9 *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian ini bertujuan mengetahui abrasi pada benda yang diuji dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Tujuannya adalah untuk mengethaui kemampuan campuran aspal dalam menahan pengaruh beban lalu lintas yang akan menyebabkan keausan pada perkerasan dan mengurangi keawetannya. Pengujian ini menggunakan mesin *Los Angeles* tanpa mengguanakn bola baja. Setelah selesai, benda yang akan diuji akan dikeluarkan dan ditimbang setelah dilakukan abrasi.

Nilai *CL* dapat dihitung dengan Persamaan 3.17 berikut

$$L = \frac{Mo - Mi}{Mo} \times 100\% \tag{3.17}$$

Keterangan :

L = Persentase kehilangan berat (%),

Mo = Berat sebelum diabrasi (gr), dan

Mi = Berat setelah diabrasi (gr).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode dan Lokasi Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental. Metode penelitian eksperimen merupakan suatu metode dengan membuat sejumlah sampel benda uji dengan jumlah dan variasi tertentu, melakukan sejumlah pengujian terhadap sampel tersebut untuk memperoleh data, kemudian melakukan pengolahan hingga diperoleh hasil yang dibandingkan dengan standar dan persyaratan yang ada di lapangan, Standar Nasional Indonesia, Bina Marga dan lainnya.

Untuk lokasi pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.2 Pengambilan Data

Pengumpulan data primer dilakukan pada saat penelitian dan data sekunder diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk memudahkan perolehan data, maka parameter pengujian didasarkan pada parameter pengujian: stabilitas, *flow* , *VITM, VFWA*, densitas, *VMA* dan rasio *Marshall*, nilai *IRS, ITS, TSR, , CL.*

4.2.1 Pemeriksaan Material.

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen dengan menggunakan sampel laboratorium untuk mengumpulkan data. Data yang diperoleh kemudian diolah sesuai spesifikasi yang telah ditentukan oleh Bina Marga.

4.2.2 Bahan Campuran Penelitian

Bahan yang akan digunakan pada proses pembuatan sampel ini adalah:

1. Aspal Penetrasi 60/70
2. Agregat kasar dan halus

3. Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus.

4.2.3 Alat Pengujian

Alat yang akan digunakan untuk membantu penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat uji bahan
    a. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus terhadap air yaitu timbangan kapasitas 1 kg, piknometer berkapasitas 500 ml, kerucut terpancung dari logam, batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, saringan, oven, desikator, air suling, pompa hampa udara *(Vacum Pump*), talam dan bejana tempat air.
    b. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar terhadap air yaitu keranjang kawat dengan kapasitas kira-kira 5 kg, saringan No. 4, oven, alat pemisah contoh, timbangan kapasitas 5 kg, dan tempat air dengan bentuk dan kapasitas yang sesuai untuk pemeriksaan agregat yang dilengkapi dengan pipa, agar permukaan airnya selalu tetap.
    c. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan analisa saringan agregat halus dan kasar yaitu timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah contoh, mesin 21 pengguncang saringan, talam, kuas, sikat kuningan, sendok danalat-alat lainnya.
    d. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan *sand equivalent* yaitu silinder ukur yang terbuat dari plastik, tutup karet, tabung irigator, kaki pemberat, larutan *CaCl2, formaldehyde, glycerin*, mekanis, corong dengan mulut luas, jam yang pembacaannya sampai detik, kaleng dengan diameter 57 ml dan isi 85 ml.
    e. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* yaitu mesin *Los Angeles*, saringan, oven, dan bola-bola baja dengan diameter 4,8 cm dan berat masing-masing 390 sampai 445 gram.

f. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan kelekatan aspal oleh aspal yaitu wadah untuk mengaduk yang berkapasitas 500 ml, timbangan dengan kapasitas 200 gr, pisau pengaduk yang terbuat dari baja, tabung gelas kimia, oven, saringan, termometer logam, dan air suling dengan ph 6,0 sampai 7,0
g. Peralatan yang dipakai dalam pemeriksaan penetrasi bahan-bahan bitumenyaitu alat penetrasi yang dapat menggerakan jarum naik turun, pemegang jarum, pemberat, jarum penetrasi, cawan contoh, bak perendam, tempat air untuk benda uji, pengukur waktu, dan thermometer.
h. Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan daktilitas bahan-bahan bitumen yaitu termometer, cetakan daktilitas kuningan, bak perendam, mesin uji, *metyl alcohol* teknik dan *sodium klorida*.
i. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan titik lembek aspal dan yaitu termometer, cincin kuningan, dudukan benda uji, alat pengaraah bola, penjepit, bola yang terbuat dari baja, dan bejana gelas.
j. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan titik nyala dan titik bakar yaitu termometer, *cleaveland open cup*, pelat pemanas, sumber pemanas, penahan angin, dan nyala penguji.
k. Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan kelarutan aspal dalam *TetraChlorida* yaitu cawan porselin, alas dari asbes, labu erlenmeyer, kertas saring, labu penyaring, tabung penyaring, tabung karet untuk menahan cawan porselin, oven, neraca analitik, pembakar, pompa hampa udara, desikator, batang pembersih, *Carbon Tetra Chlorida* dan *Amonium Karbonat*

4.3 Tahapan Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui uji laboratorium uji *Marshall* untuk memperoleh nilai stabilitas, *flow*, *VITM, VMA, VFWA*, dan *Marshall Quotient*, uji *IRS*, uji *ITS*, uji *TSR*, dan uji *CL*. Beberapa metode yang akan digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dibawah ini.

4.3.1 Pengambilan Agregat Uji

Penelitian ini membutuhkan agregat halus dari Pantai Marinsow yang terletak di Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan agregat kasar dan halus standar dari Clereng dan Kulonprogo yang sudah memenuhi standar syarat.

4.3.2 Pengujian Sifat Fisik Agregat

Tes *property* fisik umum agregat ini dibagi menjadi beberpa kategori. Pengujian ini dilakukan sebelum pembuatan benda uji denga tujuan untuk mengetahui apakah material yang digunakan memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018. Pengujian berikut harus dilakukan terhadap sifat fisik agregat dan aspal.

1. Pengujian Agregat
   a. Menguji berat jenis dan kapasitas penyerapan air agregat kasar. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis, berat jenis kering permukaan, berat jenis berat jenis semu *(apparent specific gravity)* dan serapan agregat kasar. Persyaratan agregat kasar yang diperbolehkan menurut Bina Marga (PB0205-76) adalah minimal 2,5 dan serapan air 3%.
   b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air oleh Agregat Halus Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu *(Apparent Specific Gravity)* dan penyerapan dari agregat halus. Persyaratan berat jenis agregat halus yang diizinkan menurut Bina Marga (PB 0205-76) adalah minimal 2,5 dan penyerapan air maksimal 3%.
   c. Uji kelekatan agregat terhadap aspal

      Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya rekat agregat pada aspal. Daya rekat agregat terhadap aspal merupakan persentase permukaan batu yang tertutup aspal terhadap permukaan total. Persyaratan yang diperbolehkan dalam Bina Marga (PB0205-76) minimal 95%.

d. Uji *Sand Equivalen.*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui banyaknya debu tanah, lanau atau bahan yang mengandung tanah liat atau agregat halus, Tunjangan yang diwajibkan menurut AASHTO (T-176) lebih besar 50%.

e. Uji Keausan Agregat

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan abrasi agregat besar dengan mesin di *Los Angeles*. Sifat *abrasive* dinyatakan sebagai rasio berat bahan *abrasive* yang melewati saringan No. 12 pada berat awal. Persyaratan yang diperbolehkan dalam Bina Marga adalah maksimal 40%

2. Pengujian Aspal

a. Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan antara massa aspal dengan massa air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Kepadatan aspal diperlukan untuk pengembangan rencana perkerasan karena digunakan untuk menentukan kandungan aspal dalam campuran.

b. Pengujian Titik Lembek

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui suhu pelunakan aspal dan aspal padat yang bervariasi antara 30°C sampai 200°C dengan menggunakan metode *ring and pellet* yaitu suatu lapisan aspal yang ditekan menjadi sebuah cincin yang ditekan dengan pelat baja, mempunyai berat tertentu hingga terbentuk aspal. Lapisan menyentuh pelat daras dibawah *ring* pada ketinggian tertentu. Hasil pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui sensitivitas suhu aspal.

c. Pengujian Daktilitas

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat adhesi aspal. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur jarak terjauh yang dapat ditarik anatar dua cetakan berisi aspal keras sebelum terjadi kegagalan pada suhu dan kecepatan penarikan tertentu. Aspal dengan plastisitas

lebih tingi akan mengikat partikel agregat lebih baik namun lebih *sensitive* terhadap perubahan suhu.

d. Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal, dimana aspal tersebut termasuk dalam kateogori keras atau lembek (solid atau semi solid). Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan jarum tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu. Nilai titik lembek dan penetrasi dapat menunjukkan kepekaan aspal terhadap temperatur.

e. Pengujian Kelarutan dalam *Karbon Tetra Chlorida*

Tujuan uji ini untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam *karbon Tetra Clorida.*

f. Pungujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan suhu saat aspal terlihat menyala singkat dipermukaannya (titik nyala) dan suhu saat terlihat menyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).

4.4 Peralatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan yang ada di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang meliputi alat untuk pengujian *Marshall, IRS, ITS, TSR,* dan *CL.* Komponen bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal. Pemilihan dan perencanaan dilakukan berdasarkan spesifikasi ketentuan campuran *AC-BC.* Rancangan gradasi agregat untuk campuran *AC-BC* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Gradasi Agregat Campuran *AC-BC*

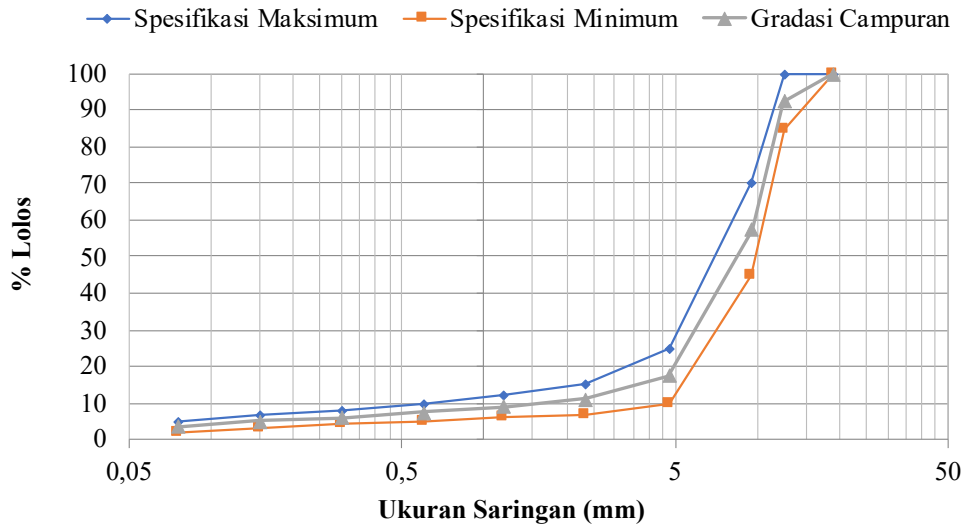
Ukuran Saringan		Spesifikasi		Gradasi Rencana	
Inchi	mm	Min	Maks	Lolos	Tertahan
1	25	100	100	100	0
3/4	19	90	100	95	5

Lanjutan Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran *AC-BC*

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Gradasi Rencana	
Inchi	mm	Min	Maks	Lolos	Tertahan
1/2	12,5	75	90	82,5	17,5
3/8	9,5	66	82	74	26
No. 4	4,75	46	64	55	45
No. 8	2,36	30	49	39,5	60,5
No. 16	1,18	18	38	28	72
No. 30	0,6	12	28	20	80
No. 50	0,3	7	20	13,5	86,5
No. 100	0,15	5	13	9	91
No. 200	0,075	4	8	6	94
Pan					100

Sumber : Bina Marga 2018

Grafik gradasi rencana yang digunakan dalam campuran *AC-BC* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik Rencana Gradasi Campuran *AC-BC*

Diperoleh kadar aspal perkiraan (Pb) dengan Persamaan 4.1

Pb = 0,035 (%*CA*) + 0,045 (%*FA*) + 0,18 (%*filler)* + Konstanta (4.1)

Dengan keterangan :

Pb = Kadar aspal perkiraan

CA = Agregat kasar tertahan pada saringan No.4

FA = Agregat halus lolos saringan No.4 dan No.200

Filler = Agregat halus lolos saringan No.200

Konstanta = 1-2

Pb = 0,035 (%*CA*) + 0,045 (%*FA*) + 0,18 (%*filler*) + Konstanta

= 0,035 (45%) + 0,045 (49%) + 0,18 (6%) + 1

= 5,86 % dibulatkan ke 6%

Berdasarkan perhitungan penentuan kadar aspal perkiraan (Pb), diperoleh KAO perkiraan sebesar 5,86%. Sehingga kadar aspal yang akan digunakan untuk pengujian ini adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200. Berikut ini kebutuhan agregat pada setiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6.

a. Kebutuhan Agregat Halus Pada Kadar Aspal 5%

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan
1	25	100	100	100	0	0,00	0,00
3/4	19	90	100	95	5	57	57
1/2	12,5	75	90	82,50	12,50	142	199
3/8	9,5	66	82	74	8,50	97	296
No.4	4,75	46	64	55	19	217	512
No.8	2,36	30	49	39,50	15,50	177	689
No.16	1,18	18	38	28	11,50	131	820
No.30	0,6	12	28	20	8	91	911
No.50	0,3	7	20	13,50	6,50	74	985
No.100	0,15	5	13	9	4,50	51	1037
No.200	0,075	4	8	6	3	34	1071
Pan					6	68	1140
Jumlah						1140	gr

b. Kebutuhan Agregat Halus Pada Kadar Aspal 5,5%

Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan
1	25	100	100	100	0	0,00	0,00
3/4	19	90	100	95	5	56,70	56,70
1/2	12,5	75	90	83	13	141,75	198,45
3/8	9,5	66	82	74	9	96,39	294,84
No.4	4,75	46	64	55	19	215,46	510,30
No.8	2,36	30	49	40	16	175,77	686,07
No.16	1,18	18	38	28	12	130,41	816,48
No.30	0,6	12	28	20	8	90,72	907,20
No.50	0,3	7	20	14	7	73,71	980,91
No.100	0,15	5	13	9	5	51,03	1031,94
No.200	0,075	4	8	6	3	34,02	1065,96
Pan					6	68,04	1134
Jumlah						1134	gr

c. Kebutuhan Agregat Halus Pada Kadar Aspal 6%

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan
1	25	100	100	100	0	0,00	0,00
3/4	19	90	100	95	5	56,40	56,40
1/2	12,5	75	90	83	13	141,00	197,40
3/8	9,5	66	82	74	9	95,88	293,28
No.4	4,75	46	64	55	19	214,32	507,60
No.8	2,36	30	49	40	16	174,84	682,44
No.16	1,18	18	38	28	12	129,72	812,16
No.30	0,6	12	28	20	8	90,24	902,40
No.50	0,3	7	20	14	7	73,32	975,72
No.100	0,15	5	13	9	5	50,76	1026,48
No.200	0,075	4	8	6	3	33,84	1060,32
Pan					6	67,68	1128,00
Jumlah						1128	gr

d. Kebutuhan Agregat Halus Pada Kadar Aspal 6,5%.

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan
1	25	100	100	100	0	0,00	0,00
3/4	19	90	100	95	5	56,10	56,10
1/2	12,5	75	90	83	13	140,25	196,35
3/8	9,5	66	82	74	9	95,37	291,72
No.4	4,75	46	64	55	19	213,18	504,90
No.8	2,36	30	49	40	16	173,91	678,81
No.16	1,18	18	38	28	12	129,03	807,84
No.30	0,6	12	28	20	8	89,76	897,60
No.50	0,3	7	20	14	7	72,93	970,53
No.100	0,15	5	13	9	5	50,49	1021,02
No.200	0,075	4	8	6	3	33,66	1054,68
Pan					6	67,32	1122,00
Jumlah						1122	gr

e. Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan
1	25	100	100	100	0	0,00	0,00
3/4	19	90	100	95	5	55,80	55,80
1/2	12,5	75	90	83	13	139,50	195,30
3/8	9,5	66	82	74	9	94,86	290,16
No.4	4,75	46	64	55	19	212,04	502,20
No.8	2,36	30	49	40	16	172,98	675,18
No.16	1,18	18	38	28	12	128,34	803,52
No.30	0,6	12	28	20	8	89,28	892,80
No.50	0,3	7	20	14	7	72,54	965,34
No.100	0,15	5	13	9	5	50,22	1015,56
No.200	0,075	4	8	6	3	33,48	1049,04
Pan						66,96	1116,00
Jumlah						1116	gr

4.5 Jumlah Sampel dan Variasi Agregat

Pada penelitian ini terlebih dahulu diuji agregat dan aspal sebelum digunakan sebagai campuran perkerasan *AC-BC.* Pengujian menggunakan metode pencampuran konvensional. Jumlah total sampel penelitian yang sudah direncanakan adalah sebanyak 150 buah, yang diantaranya digunakan untuk pengujian mencari KAO sebanyak 75 buah dan penggunaan 75 buah sampel lainnya untuk tiap pengujian KAO. Untuk penjelasan jumlah setiap sampel penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Jumlah Sampel Untuk Mendapatkan Kadar Aspal Optimum

Variasi Substitusi Agregat Halus (%)	Jumlah Sampel Setiap Kadar Aspal (buah)				
	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
0	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3
50	3	3	3	3	3
75	3	3	3	3	3
100	3	3	3	3	3
Jumlah	75				

Hasil dari perhitungan persentase kadar aspal yang sudah dilakukan, telah ditentukan jumlah sampel sebanyak 3 buah pada setiap kebutuhan penelitian dengan variasi kadar aspal pen 60/70 sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% yang membutuhkan 75 buah sampel untuk pengujian KAO. Berikut ini variasi subtitusi agregat halus pada 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4. 8 Variasi Tiap Subtitusi Agregat Halus

Kadar Aspal (%)	Ukuran Saringan	Variasi Kadar Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow (%)									
	Inchi	0		25		50		75		100	
		PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP
5	No.30	91,20	0	68,40	22,8	45,60	45,6	22,80	68,4	0	91,20
	No.50	74,10	0	55,58	18,52	37,05	37,05	18,53	55,58	0	74,10
	No.100	51,30	0	38,48	12,82	25,65	25,65	12,83	38,48	0	51,30
5,5	No.30	90,72	0	68,04	22,68	45,36	45,36	22,68	68,04	0	90,72
	No.50	73,71	0	55,28	18,43	36,86	36,86	18,43	55,28	0	73,71
6	No.30	90,24	0	67,68	22,56	45,12	45,12	22,56	67,68	0	90,24
	No.50	73,32	0	54,99	18,33	36,66	36,66	18,33	54,99	0	73,32
	No.100	50,76	0	38,07	12,69	25,38	25,38	12,69	38,07	0	50,76
6,5	No.30	89,76	0	67,32	22,44	44,88	44,88	22,44	67,32	0	89,76
	No.50	72,93	0	54,70	18,23	36,47	36,47	18,23	54,69	0	72,93
	No.100	50,49	0	37,87	12,62	25,25	25,25	12,62	37,86	0	50,49
7	No.30	89,28	0	66,96	22,32	44,64	44,64	22,32	66,96	0	89,28
	No.50	72,54	0	54,40	18,14	36,27	36,27	18,14	54,41	0	72,54
	No.100	50,22	0	37,66	12,56	25,11	25,11	12,56	37,67	0	50,22

Keterangan :

PC = Pasir Clereng

PP = Pasir Pantai Marinsow

Berikut ini jumlah sampel pada setiap pengujian, setelah diperoleh nilai KAO yaitu sebanyak 75 buah sampel uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO

Jenis Pengujian	Jenis Pengujian dan Subtitusi				
	0% Pasir Pantai	25% Pasir Pantai	50% Pasir Pantai	75% Pasir Pantai	100% Pasir Pantai
MS	3	3	3	3	3
IRS	3	3	3	3	3
ITS	3	3	3	3	3

Lanjutan Tabel 4.9 Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO

Jenis Pengujian	Jenis Pengujian dan Subtitusi				
	0% Pasir Pantai	25% Pasir Pantai	50% Pasir Pantai	75% Pasir Pantai	100% Pasir Pantai
TSR	3	3	3	3	3
CL	3	3	3	3	3
Jumlah	15	15	15	15	15
Total	75				

4.6 Uji *Marshall*

Pengujian ini untuk mengetahui nilai stabilitas terhadap lelehan plastis dari campuran. Berikut tahapan pengujiannya.

1. Prosedur pengujianLangkah-langkah yang dilakukan pada pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.
   a. Bersihkan sampel dari kotoran yang menempel.
   b. Berikan tanda pada setiap sampel.
   c. Ukur setiap tinggi sampel sebanyak tiga kali pada tiap sisi yang berbeda, kemudian dirata-ratakan dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm.
   d. Timbang sampel untuk mengetahui berat pada kondisi kering.
   e. Rendam sampel di *waterbath* selama 20-24 jam dengan suhu ruang agar sampel menjadi jenuh air.
   f. Timbang sampel dalam kondisi jenuh setelah melewati proses rendaman air.
   g. Lap permukaan sampel lalu timbang lagi dengan kondisi sampel kering permukaan jenuh (Saturated Surface Dry).
   h. Rendam lagi sampel dalam *waterbath* pada suhu 60℃ selama 30 menit.
   i. Bersihkan penekan kepala sampel terlebih dahulu dan permukaan diberi pelicin untuk mempermudah dalam melepas sampel
   j. Pasang arloji kelelehan *(flow meter)* dengan posisi diatas satu batang penuntun. Kemudian, *Test head* sampel dinaikkan hingga menyentuh alas *ring* penguji, lalu atur posisi kedudukan arloji pada angka nol.

k. Dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, hingga mencapai pembebanan maksimum. Disaat arloji pembebanan stop dan mulai kembali berputar dalam posisi menurun, maka dapat dibaca hasil arloji kelelehannya.
l. Sampel dikeluarkan dari alat uji, setelah pembebanan sudah selesai
m. Melalui proses perhitungan lagi, maka hasil bisa diketahui.

4.7 Uji *IRS*

Uji ini dilakukan untuk mengetahui nilai durabilitas pada campuran yang dilakukan rendaman dalam *water bath* selama 24 jam. Berikut Langkah pengujian *IRS.*

1. Rendam sampel yang sebelumnya sudah melalui proses rendaman selama 24 jam pada suhu ruang agar benda uji dalam kondisi jenuh.
2. Timbang sampel pada kondisi jenuh.
3. Lap sampel sampai kerin, lalu sampel ditimbang didalam air.
4. Rendam kembali sampel dalam *water bath* dengan suhu 60℃ selama 24 jam.
5. Langkah akhir dari pengujian ini yaitu melakukan uji *Marshall*.

4.8 Uji *ITS*

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan-bahan.
2. Buat sampel dengan kadar aspal optimum yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall.*
3. Letakkan sampel pada alat uji *Indirect Tensile Strength.*
4. Catat nilai dial dari hasil pengujian.
5. Lakukan analisis data dan membuat pembahasan dan kesimpulan *ITS*.

4.9 Uji *TSR*

Pengujian *TSR* bertujuan untuk mengetahui daya tahan tarik sampel. Berikut merupakan langkah-langkah pengujian.

1. Bersihkan sampel dari kotoran.
2. Ukur sampel pada setiap sisi dan diambil tebal rata-rata
3. Rendam benda uji selama 30 menit dan benda uji menjadi jenuh.
4. Setelah di rendam benda uji diambil lalu ditimbang saat keadaan jenuh.
5. Selanjutnya benda uji direndam dalam *waterbath* selama 24 jam sengan suhu konstan 60℃.
6. Setelah dilakukan perendaman, benda uji didiamkan selama 24 jam dalam suhu ruang 25℃.
7. Benda uji diletakkan pada alat pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS).*
8. Sampel diberikan pembebanan hingga mencapai beban maksimum yang ditandai dengan arloji pembebanan berhenti dan berbalik arah
9. Lakukan pencatatan pada hasil pembebanan
10. Nilai tarik terkoreksi dihitung dan dilakukan analisis.

4.10 Uji *CL*

Sampel yang digunakan adalah sampel yang sudah didiamkan selama 7 hari pada suhu ruang. Kemudian dalam alat uji abrasi *Los Angeles* dengan putaran sebanyak 300 putaran tanpa bola baja. Sampel dikeluarkan dan timbang berat sebelum dan sesudah melakukan pengujian, kemudian dicatat dan dihitung menggunakan rumus *CL*.

4.11 Analisis Data

1. Karakteristik *Marshall*

   Setelah pengujian *Marshall*, kemudian dilakukan analisis data. Data yang diperoleh dari hasil pengujian adalah sebagai berikut.

   a. Berat benda uji sebelum direndam (gram).
   b. Berat benda uji di dalam air (gram).

c. Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram).

d. Tebal benda uji (cm).

e. Pembacaan arloji stabilitas (kg).

f. Pembacaan arloji kelelehan *flow* (mm).

Nilai karakteristik *Marshall* diperoleh dengan persamaan 4.4 dan 4.5 berikut ini.

$$\text{Bj Aspal} = \frac{Berat}{Volume} \quad (4.4)$$

$$\text{Bj Agregat} = \frac{(A.F1)+(B.F2)}{100} \quad (4.5)$$

dengan:

A : Persentasi agregat kasar,

B : Persentase agregat halus,

F1 : Berat jenis agregat kasar, dan F2 : Berat jenis agregat halus.

Nilai stability, *flow, MQ, VITM, VFWA, VMA* dan *density* dapat diperoleh dari data diatas.

2. *ITS*

Nilai *Indirect Tensile Strength* adalah nilai kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban, dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3.15).

3. *TSR*

Didapatkan dari perbandingan nilai *ITS* setelah dilakukan rendaman, dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.16).

4. *CL*

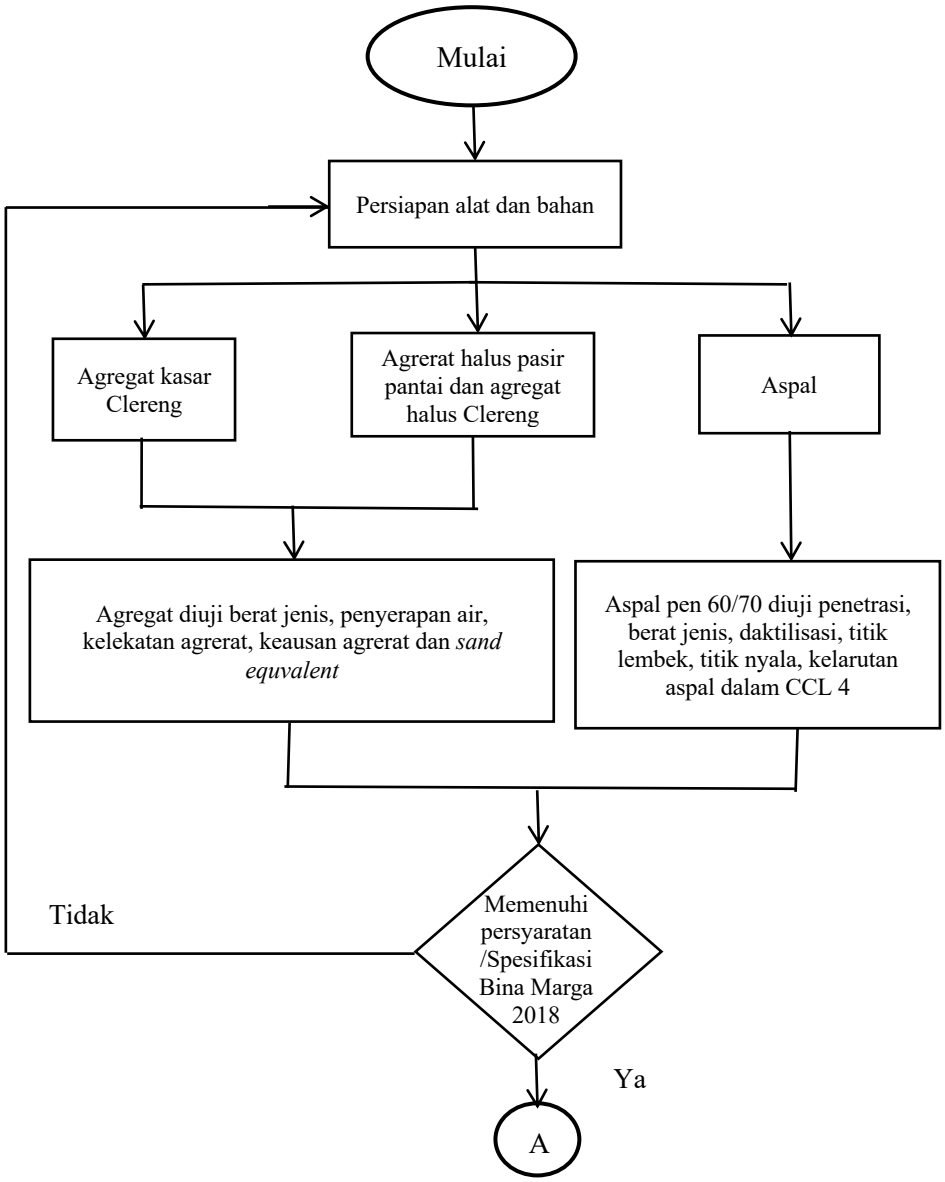
Bertujuan untuk mengetahui berapa persentase kehilangan berat sampel setelah melalui tes keausan mesin *Los Angeles*. Dapat dihitung dengan Persamaan (3.17).

5. *IRS*

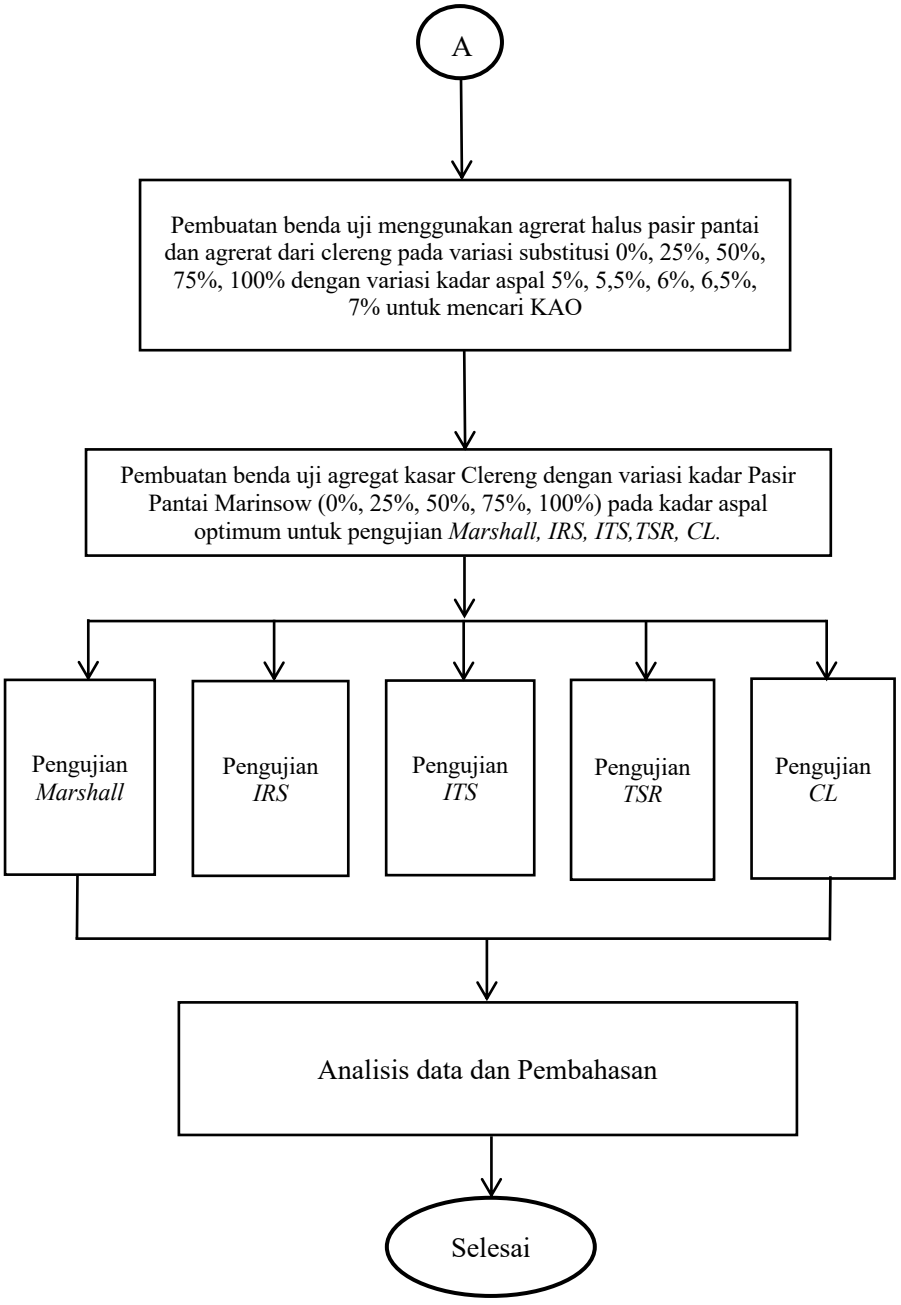
Nilai *Index of Retained Strength* dapat diperoleh dari hasil *Immersion Test ,* kemudian dihitung menggunakan Persamaan (3.14).

4.12 Bagan Alir atau *Flowchart* Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat bagan alir atau *flowchart* yang menunjukkan urutan atau tahap – tahap pekerjaan yang akan dilakukan selama penelitian. Adapun bagan alir atau *flowchart* dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Diagram Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Diagram Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran

Berdasarkan Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, berikut ini adalah hasil dari setiap pengujian tersebut.

5.1.1 Hasil Uji Karakteristik Aspal

Pengujian aspal dilakukan dengan menggunakan aspal pen 60/70 sesuai dengan standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat jenis	≥ 1,0	1,05	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60/70	66,3	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek (ºC)	≥ 48	48,5	Memenuhi
5	Titik Nyala (ºC)	≥ 232	317,5	Memenuhi
6	Titik Bakar (ºC)	≥ 232	320	Memenuhi
7	Kelarutan pada *TCE* (%)	≥ 99	99,32	Memenuhi

Hasil pengujian terhadap aspal pen 60/70 yang telah dilakukan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan yaitu mengacu pada Bina Marga 2018 Revisi 2.

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian agregat mencakup agregat kasar, agregat halus, dan *filler.* Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo, serta Marinsow, Sulawesi Utara, Pengujian karakteristik agregat dilakukan di

Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian karakteristik agregat disajikan pada Tabel 5.2 hingga Tabel 5.5.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,56	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap air (%)	≤ 3	2	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan dengan Mesin *Loss Angeles (%)*	≤ 40	19,32	Memenuhi

Tabel 5. 3 Pengujian Agregat Halus Clereng

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,69	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat terhadap air (%)	≤ 3	2,91	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50	92,84	Memenuhi

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Agregat Halus Pantai Marinsow

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,62	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat terhadap air (%)	≤ 3	0,14	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50	97,67	Memenuhi

Hasil pengujian terhadap agregat halus dari Clereng serta Pasir Pantai Marinsow telah memenuhi semua standar yang telah ditetapkan Bina Marga 2018, hasil pengujian dari agregat halus Clereng dan Pasir Pantai Marinsow dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	*Filler*	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤ 8	2,53	Memenuhi

Hasil pengujian terhadap berat jenis *filler* yang telah dilakukan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan yaitu mengacu pada Bina Marga 2018.

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *AC-BC* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar aspal optimum berdasarkan karakteristik *Marshall*, meliputi nilai stabilitas, *flow, VITM, VFWA, MQ*, dan *density.* Berikut hasil pengujian campuran *AC-BC* dengan variasi subtitusi 0%, 25%, 50%, 75%, 100%.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 0%

Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (%)
5	989,62	2,45	417,03	5,04	69,08	16,06	2,318
5,5	1078,32	2,51	449,66	4,43	73,46	16,55	2,316
6	1179,93	2,55	474,47	4,21	76,27	17,37	2,306
6,5	1153,06	2,68	438,81	4,03	77,96	18,22	2,294
7	1096,41	2,95	372,00	3,86	79,79	19,06	2,283
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 25%

Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (%)
5	974,64	2,56	386,48	5,18	67,94	16,16	2,31
5,5	1048,09	2,64	403,01	4,52	72,86	16,60	2,308
6	1152,68	2,72	442,43	4,36	75,15	17,46	2,296
6,5	1123,27	2,73	413,90	4,12	77,48	18,26	2,286
7	1044,74	2,97	353,92	3,94	79,40	19,09	2,275
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 50%

Kadar aspal (%)	Stabilit*as* (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (%)
5	946,27	2,58	372,78	5,46	66,66	16,38	2,294
5,5	1009,30	2,74	380,34	4,68	72,11	16,70	2,297
6	1126,82	2,85	402,34	4,50	74,37	17,55	2,286
6,5	1087,58	2,92	374,55	4,28	76,80	18,35	2,276
7	1007,86	2,99	339,04	4,08	78,73	19,16	2,265
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 75%

Kadar aspal (%)	*Stabilitas* (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (%)
5	893,72	2,60	344,65	5,64	66,30	16,50	2,283
5,5	956,24	2,83	361,23	4,84	71,21	16,81	2,287
6	1092,40	2,95	378,98	4,57	74,02	17,57	2,278
6,5	1035,55	3,00	346,41	4,32	76,60	18,34	2,268
7	973,33	3,05	323,02	4,21	78,40	19,23	2,256
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 100%

Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (%)
5	867,63	2,82	309,17	5,79	65,13	16,60	2,273
5,5	904,70	2,90	314,23	4,98	70,51	16,90	2,277
6	1067,50	2,99	361,91	4,67	73,83	17,62	2,269
6,5	1008,71	3,05	331,58	4,46	75,90	18,43	2,258
7	924,01	3,11	297,76	4,39	77,30	19,34	2,245
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari KAO

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi 60/70				
		Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow				
		0	25	50	75	100
Stabilitas (kg)	5	989,62	974,64	946,27	893,72	867,63
	5,5	1078,32	1048,09	1009,30	956,24	904,70
	6	1179,93	1152,68	1126,82	1092,40	1067,50
	6,5	1153,06	1123,27	1087,58	1035,55	1008,71
	7	1096,41	1044,74	1007,86	973,33	924,01
Flow (mm)	5	2,45	2,56	2,58	2,60	2,82
	5,5	2,51	2,64	2,74	2,83	2,90
	6	2,55	2,72	2,85	2,95	2,99
	6,5	2,68	2,73	2,92	3,00	3,05
	7	2,95	2,97	2,99	3,05	3,11

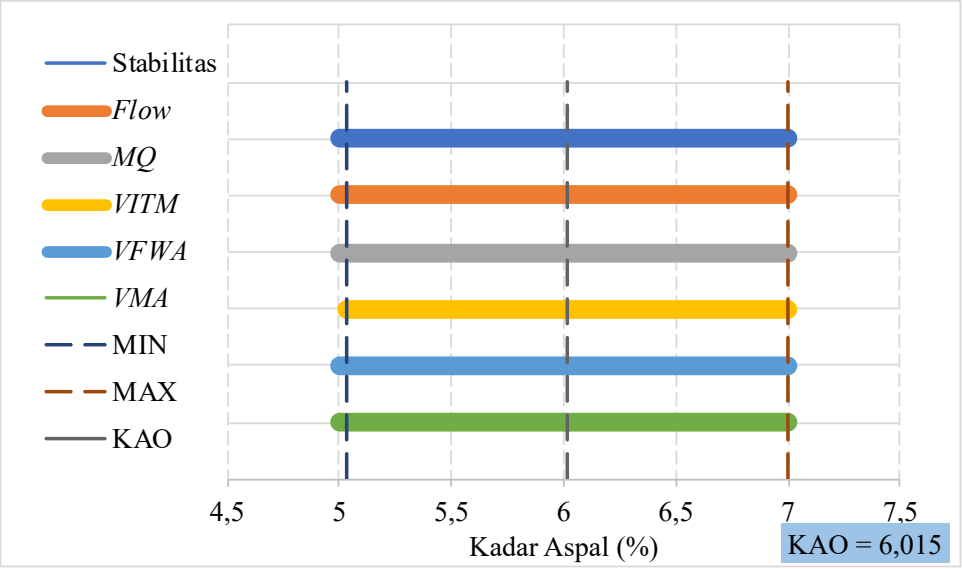
Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari KAO

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi 60/70				
		Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow				
		0	25	50	75	100
MQ (kg/mm)	5	417,03	386,48	372,78	344,65	309,17
	5,5	449,66	403,01	380,34	361,23	314,23
	6	474,47	442,43	402,34	378,98	361,91
	6,5	438,81	413,90	374,55	346,41	331,58
	7	372,00	353,92	339,04	323,02	297,76
VITM (%)	5	5,04	5,18	5,46	5,64	5,79
	5,5	4,43	4,52	4,68	4,84	4,98
	6	4,21	4,36	4,50	4,57	4,67
	6,5	4,03	4,12	4,28	4,32	4,46
	7	3,86	3,94	4,08	4,21	4,39
VFWA (%)	5	69,08	67,94	66,66	66,30	65,13
	5,5	73,46	72,86	72,11	71,21	70,51
	6	76,27	75,15	74,37	74,02	73,83
	6,5	77,96	77,48	76,80	76,60	75,90
	7	79,79	79,40	78,73	78,40	77,30
VMA (%)	5	16,06	16,16	16,38	16,50	16,60
	5,5	16,55	16,60	16,70	16,81	16,90
	6	17,37	17,46	17,55	17,57	17,62
	6,5	18,22	18,26	18,35	18,34	18,43
	7	19,06	19,09	19,16	19,23	19,34

Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari KAO

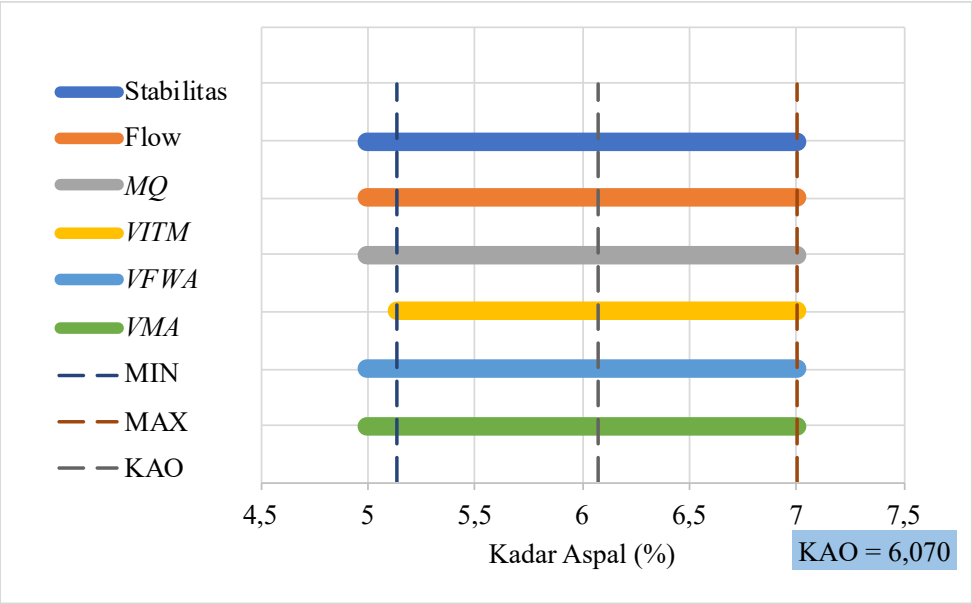
Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi 60/70				
		Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow				
		0	25	50	75	100
Density (%)	5	2,32	2,31	2,29	2,28	2,27
	5,5	2,32	2,31	2,30	2,29	2,28
	6	2,31	2,30	2,29	2,28	2,27
	6,5	2,29	2,29	2,28	2,27	2,26
	7	2,28	2,27	2,27	2,26	2,25

Setelah pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, berdasarkan acuan Bina Marga 2018 diperoleh kadar aspal optimum (KAO) diperoleh melalui hitungan grafik. Nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 5.1 hingga Gambar 5.5 berikut ini.



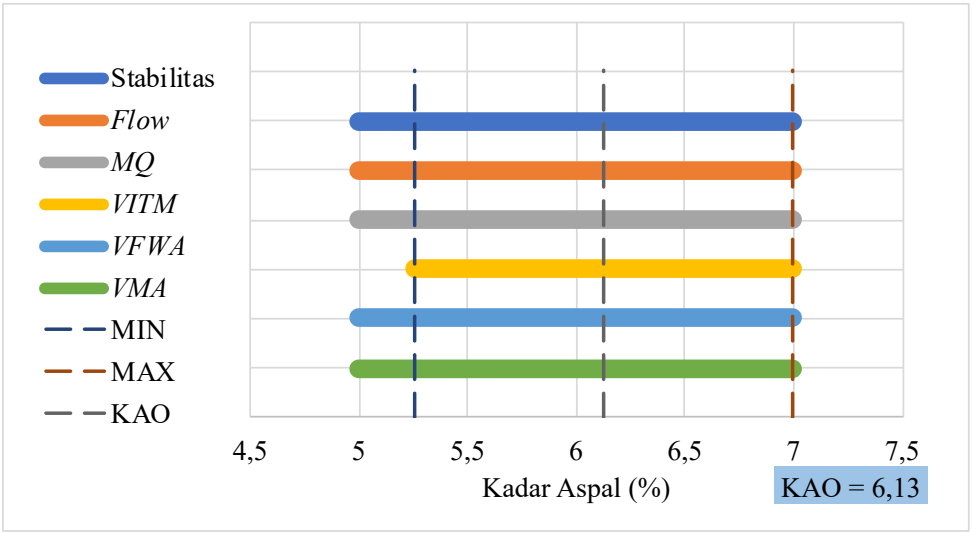
Gambar 5. 1 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 0%

Berdasarkan gambar, nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada subtitusi Pasir Pantai Marinsow 0% adalah sebesar 6,015%.



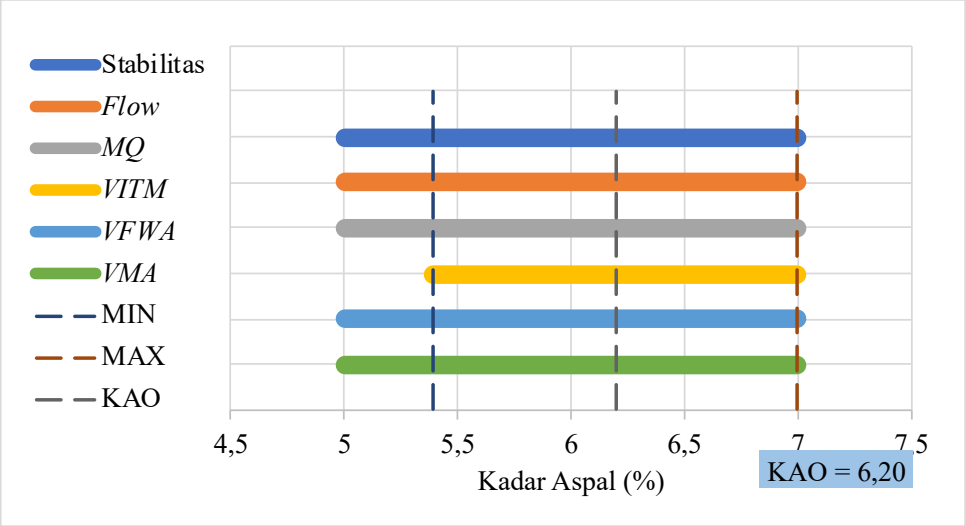
Gambar 5. 2 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 25%

Berdasarkan gambar, nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada subtitusi Pasir Pantai Marinsow 25% adalah sebesar 6,07%.



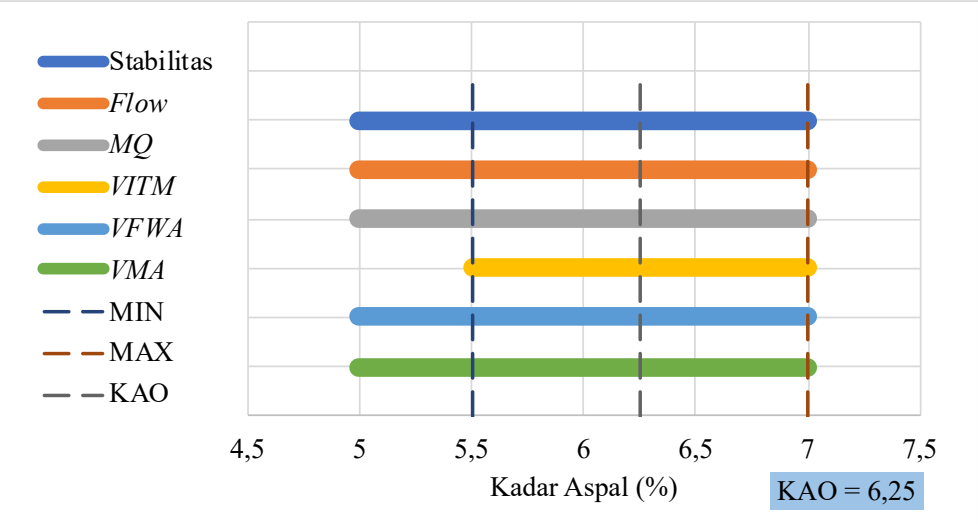
Gambar 5. 3 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 50%

Berdasarkan gambar, nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada subtitusi Pasir Pantai Marinsow 50% adalah sebesar 6,13%.



Gambar 5. 4 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 75%

Berdasarkan gambar, nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada subtitusi Pasir Pantai Marinsow 75% adalah sebesar 6,2%.



Gambar 5. 5 Penentuan KAO dengan Subtitusi Pasir Pantai Marinsow 100%

Berdasarkan gambar, nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada subtitusi Pasir Pantai Marinsow 100% adalah sebesar 6,25%. Berikut adalah rekapitulasi hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran *AC-BC* dengan subtitusi agregat halus Pasir Pantai Marinsow dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil KAO

Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow (%)	Kadar Aspal Minimum (%)	Kadar Aspal Maksimum (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	5,03	7	6,015
25	5,14	7	6,07
50	5,26	7	6,13
75	5,39	7	6,20
100	5,5	7	6,25

Berdasarkan Tabel 5.12, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi agregat halus dengan Pasir Pantai Marinsow, semakin besar kadar aspal yang diperlukan. Hal ini disebabkan oleh berat jenis Pasir Pantai Marinsow, yaitu 2,62, yang lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis agregat halus Clereng sebesar 2,67. Selain itu, tingkat penyerapan air Pasir Pantai Marinsow lebih rendah dibandingkan agregat halus Clereng, sehingga kebutuhan kadar aspal meningkat seiring dengan bertambahnya persentase substitusi Pasir Pantai Marinsow.

5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Berikut kebutuhan agregat pada kadar aspal optimum untuk setiap proporsi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.13 hingga Tabel 5.17

Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat Subtitusi 0% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,015%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Marinsow
1	25	100	100	100	0	0,00	0,00	0,00	0
3/4	19	90	100	95	5	56,39	56,4	56,4	0

Lanjutan Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat Subtitusi 0% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,015%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Marinsow
1/2	12,5	75	90	83	13	140,98	197,4	141,0	0
3/8	9,5	66	82	74	9	95,86	293,2	95,9	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,29	507,5	214,3	0
No.8	2,36	30	49	40	16	174,81	682,3	174,8	0
No.16	1,18	18	38	28	12	129,70	812,0	129,7	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,23	902,3	90,2	0
No.50	0,3	7	20	14	7	73,31	975,6	73,3	0
No.100	0,15	5	13	9	5	50,75	1026,3	50,8	0
No.200	0,075	4	8	6	3	33,83	1060,2	33,8	0
Pan					6	67,67	1127,82	67,67	0
Jumlah						1127,82	gr		

Tabel 5. 14 Kebutuhan Agregat Subtitusi 25% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,07%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Marinsow
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,36	56,36	56,36	0
1/2	12,5	75	90	83	13	140,90	197,25	140,90	0
3/8	9,5	66	82	74	9	95,81	293,06	95,81	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,16	507,22	214,16	0
No.8	2,36	30	49	40	16	174,71	681,93	174,71	0
No.16	1,18	18	38	28	12	129,62	811,56	129,62	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,17	901,73	67,63	22,54
No.50	0,3	7	20	14	7	73,27	974,99	54,95	18,32
No.100	0,15	5	13	9	5	50,72	1025,72	38,04	12,68
No.200	0,075	4	8	6	3	33,81	1059,53	33,81	0
Pan					6	67,63	1127,16	67,63	0
Jumlah						1127,16	gr		

Tabel 5. 15 Kebutuhan Agregat Subtitusi 50% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,13%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Marinsow
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,32	56,32	56,32	0
1/2	12,5	75	90	83	13	140,90	197,22	140,90	0
3/8	9,5	66	82	74	9	95,81	293,03	95,81	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,16	507,19	214,16	0,0
No.8	2,36	30	49	40	16	174,71	681,90	174,71	0,0
No.16	1,18	18	38	28	12	129,62	811,52	129,62	0,0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,17	901,69	45,09	45,09
No.50	0,3	7	20	14	7	73,27	974,96	36,63	36,63
No.100	0,15	5	13	9	5	50,72	1025,68	25,36	25,36
No.200	0,075	4	8	6	3	33,81	1059,49	33,81	0,0
Pan					6	67,63	1127,12	67,63	0,0
Jumlah						1127,12	gr		0

Tabel 5. 16 Kebutuhan Agregat Subtitusi 75% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,20%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Marinsow
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,3	56,3	56,3	0
1/2	12,5	75	90	83	13	140,9	197,2	140,9	0
3/8	9,5	66	82	74	9	95,8	293,0	95,8	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,2	507,1	214,2	0
No.8	2,36	30	49	40	16	174,7	681,9	174,7	0
No.16	1,18	18	38	28	12	129,6	811,5	129,6	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,2	901,7	22,5	67,63
No.50	0,3	7	20	14	7	73,3	974,9	18,3	54,95
No.100	0,15	5	13	9	5	50,7	1025,6	12,7	38,04
No.200	0,075	4	8	6	3	33,8	1059,5	33,8	0
Pan					6	67,6	1127,1	67,6	0
Jumlah						1127,1	gr		

Tabel 5. 17 Kebutuhan Agregat Subtitusi 100% Pasir Pantai Marinsow Kadar Aspal Optimum 6,25%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Marinsow
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,3	56,3	56,3	0
1/2	12,5	75	90	83	13	140,9	197,1	140,9	0
3/8	9,5	66	82	74	9	95,8	293,0	95,8	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,2	507,1	214,2	0
No.8	2,36	30	49	40	16	174,7	681,8	174,7	0
No.16	1,18	18	38	28	12	129,6	811,4	129,6	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,2	901,6	0	90,2
No.50	0,3	7	20	14	7	73,3	974,9	0	73,3
No.100	0,15	5	13	9	5	50,7	1025,6	0	50,7
No.200	0,075	4	8	6	3	33,8	1059,4	33,8	0
Pan					6	67,6	1127,1	67,6	0,0
Jumlah						1127,1	gr		

Berdasarkan tabel diatas, agregat yang dibutuhkan pada setiap kadar aspal aspal berbeda, karena total kebutuhan agregat untuk setiap variasi substitusi agregat halus dalam campuran dihitung berdasarkan berat total campuran setelah dikurangi dengan berat total aspal yang diperlukan.

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *AC-BC* pada Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow

Hasil pengujian campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan subtitusi agregat halus, menggunakan uji *marshall*, *IRS, ITS, TSR* dan uji *CL.*

1. Pasir Pantai Marinsow sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *Marshall*

Hasil pengujian *marshall* pada kadar aspal optimum Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum

Variasi Subtitusi Agregat (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/cc)
0	1319,50	3,07	430,63	3,12	81,07	16,46	2,33
25	1264,45	3,10	409,82	3,21	80,85	16,61	2,32
50	1176,88	3,15	377,85	3,35	80,14	16,82	2,31
75	1082,10	3,22	336,53	3,55	79,30	17,09	2,30
100	1040,29	3,29	318,70	3,98	77,31	17,52	2,28
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Berdasarkan tabel, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai stabilitas pada pengujian *marshall* seiring dengan bertambahnya variasi subtitusi Pasir Pantai Marinsow. Akan tetapi hasilnya masih menunjukkan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan Bina Marga 2018 Revisi 2.

2. Pasir Pantai Marinsow sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *IRS*

Hasil pengujian *IRS* pada kadar aspal optimum Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengujian *IRS* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum

Subtitusi Pasir Pantai Marinsow (%)	Nilai *IRS* (%)
0	92,97
25	92,52
50	92,29
75	91,72
100	91,26

3. Pasir Pantai Marinsow sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *ITS*

Hasil pengujian *ITSl* pada kadar aspal optimum Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Pengujian *ITS* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum

Subtitusi Pasir Pantai Marinsow (%)	Nilai *ITS* (kpa)
0	1164,117
25	1059,016
50	1038,330
75	1012,469
100	976,443

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai *ITS* seiring dengan penambahan variasi subtitusi Pasir Pantai Marinsow mengalami penurunan nilai *ITS*.

4. Pasir Pantai Marinsow sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *TSR*

Hasil pengujian *TSR* pada kadar aspal optimum Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Pengujian *TSR* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum

Subtitusi Pasir Pantai Marinsow (%)	Nilai *TSR* (%)
0	97,058
25	95,859
50	94,324

Lanjutan Tabel 5. 21 Rekapitulasi Pengujian *TSR* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum

Subtitusi Pasir Pantai Marinsow (%)	Nilai TSR (%)
75	93,536
100	93,063

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan persentase nilai *TSR* seiring dengan bertambanya variasi subtitusi Pasir Pantai Marinsow .

5. Pasir Pantai Marinsow sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *CL*

Hasil pengujian *CL* pada kadar aspal optimum Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Pengujian *CL* Setiap Variasi Subtitusi pada Kadar Aspal Optimum

Subtitusi Pasir Pantai Marinsow (%)	Kehilangan Berat (%)
0	2,63
25	2,89
50	3,27
75	3,74
100	3,94

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan kehilangan berat seiring dengan bertambahnya variasi subtitusi Pasir Pantai Marinsow.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian menggunakan aspal dengan jenis Pertamina Pen 60/70, pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Berikut adalah

pembahasan hasil pengujian karakteristik aspal.

1. Berat Jenis Aspal

Berdasarkan perbandingan massa aspal dengan massa air suling pada volume dan suhu yang sama, nilai berat jenis aspal dalam uji ini adalah 1,05. Nilai ini lebih dari 1,00, sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal dilakukan untuk menilai kualitas dan tingkat kekerasan aspal. Nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 66,3 mm, yang masuk dalam rentang spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu 60–70 mm.

3. Daktilitas

Sifat kohesi dan elastisitas aspal diukur melalui pengujian daktilitas. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa kuat aspal dapat mempertahankan kekuatan tarik dan fleksibilitasnya sebelum dipecahkan. Hasilnya menunjukkan bahwa aspal memiliki elastisitas yang baik dan memenuhi standar yang ditetapkan. Nilai daktilitasnya mencapai 164 mm, yang sesuai dengan ketentuan spesifikasi Bina Marga 2018, yang memerlukan nilai minimal 100 cm.

4. Titik Lembek

Parameter penting yang dikenal sebagai titik lembek aspal menunjukkan suhu di mana aspal berubah dari padat menjadi lunak atau lembek. Suhu ini menunjukkan titik di mana aspal menjadi lebih cair atau plastis. Dalam penelitian ini, pengujian titik lembek menunjukkan suhu 48,5°C. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik lembek sudak memenuhi syarat, yaitu lebih dari 48°C.

5. Titik Nyala

Nilai titik nyala aspal adalah nilai yang menunjukkan suhu di mana aspal mulai terbakar, mengeluarkan percikan api kecil atau menyala seketika saat terkena panas. Dari hasil pengujian, titik nyala aspal tercatat pada suhu 315°C. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik lembek sudah memenuhi syarat, yaitu lebih dari 232°C, menurut hasil pengujian titik nyala dalam penelitian ini.

6. Titik Bakar

Nilai titik bakar aspal adalah alat penting yang menunjukkan suhu tertentu di mana aspal mulai terbakar dengan nyala api dan dapat dilihat pada permukaannya selama sekitar lima detik lebih atau kurang. Dari hasil pengujian, titik bakar tercatat pada suhu 320°C. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik bakar telah melebihi 232°C, menurut penelitian ini.

7. Kelarutan pada *TCE* (*Trychloroethylene*)

Pengujian kelarutan pada TCE dilakukan untuk mengetahui seberapa besar persentase jumlah aspal yang dapat larut dalam TCE. Proses ini penting karena memberikan gambaran tentang kualitas kemurnian aspal, yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap kekuatan ikatan aspal dengan agregat atau batuan dalam campuran perkerasan jalan. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik bakar sudah memenuhi spesifikasi dengan nilai lebih dari 99,32%, menurut penelitian ini.

5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik dilakukan pada agregat kasar untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristiknya. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa agregat kasar memiliki kualitas yang sesuai dan memenuhi standar yang diperlukan untuk digunakan dalam campuran untuk perkerasan jalan atau konstruksi lainnya. Hasil dari agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo. Berikut adalah karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam penelitian.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis adalah rasio volume agregat/air pada suhu tertentu. Jumlah pori-pori yang ada dalam campuran dipengaruhi oleh berat jenis agregat. Jika berat jenis agregat lebih tinggi, lebih banyak pori-pori yang ada, sehingga kebutuhan aspal juga akan berkurang. Sebaliknya, jika berat jenis agregat lebih rendah, lebih banyak pori-pori yang ada, sehingga kebutuhan aspal juga akan meningkat. Hasil tes menunjukkan bahwa berat jenis agregat kasar sebesar 2,69, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu lebih dari 2,5.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Agregat dengan pori-pori yang besar menyerap lebih banyak air dan memerlukan lebih banyak aspal untuk mengisi pori-porinya, sedangkan agregat dengan pori-pori yang kecil menyerap lebih sedikit air. Ini disebut penyerapan air agregat, tergantung pada kondisi agregat dari kering hingga jenuh. Hasil pengujian menunjukkan tingkat penyerapan sebesar 1,687, yang tidak melebihi batas maksimum, sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal dilakukan untuk mengetahui seberapa besar persentase luas permukaan agregat yang berhasil tertutupi atau terselimuti oleh lapisan aspal; ujian ini sangat penting untuk memastikan kualitas ikatan antara agregat dan aspal dalam campuran perkerasan. Ujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah lapisan aspal cukup kuat dan merata untuk menutupi permukaan agregat sehingga memberikan daya ikat yang baik. Standar spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, yang menetapkan batas minimum kelekatan agregat terhadap aspal sebesar 95%, telah memenuhi nilai ini.

4. Keausan dengan Mesin *Loss Angeles*

Nilai keausan agregat menunjukkan seberapa tahan agregat terhadap pengikisan atau abrasi yang terjadi ketika diuji dengan mesin *Los Angeles*. Dengan nilai keausan 19,32%, agregat menunjukkan ketahanan yang baik terhadap abrasi dalam penelitian ini. Nilai keausan agregat campuran aspal tidak boleh lebih dari 40%, menurut Pedoman Spesifikasi Bina Marga 2018.

5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo, bersama dengan Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti, dan diuji untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristiknya. Ini adalah hasil dari pengujian karakteristik agregat halus yang dilakukan oleh penelitian ini.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperature tertentu. Hasil uji menunjukkan bahwa agregat halus Clereng memiliki berat jenis 2,67,

dan Pasir Pantai Marinsow memiliki berat jenis 2,62. Kedua material tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, yang menetapkan berat jenis agregat halus setidaknya 2,5.

2. Penyerapan Terhadap Air

Pengujian penyerapan air dilakukan pada agregat dari kondisi kering hingga jenuh untuk mengukur kapasitas agregat untuk menyerap air melalui pori-pori atau celah di dalamnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat halus Clereng memiliki tingkat penyerapan air sebesar 2,91%, sedangkan Pasir Pantai Marinsow memiliki tingkat penyerapan air sebesar 0,14%. Kedua hasil ini sesuai dengan spesifikasi Bina Marga tahun 2018, yang menetapkan tingkat penyerapan air maksimal sebesar 3%. Dengan demikian, Pasir Pantai Marinsow akan membutuhkan lebih banyak air dari pada agregat halus Clereng.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* dilakukan untuk mengetahui apakah agregat halus memiliki lumpur, debu, atau kotoran lain yang tersisa di dalamnya. Hasilnya menunjukkan bahwa agregat halus dari Clereng memiliki nilai sand equivalent sebesar 92,84% dan Pasir Pantai Marinsow memiliki nilai *sand equivalent* sebesar 97,67%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa agregat halus dari Clereng dan Pasir Pantai Marinsow memiliki tingkat kebersihan yang hampir sama.

5.2.4 Bahan Pengisi (*filler*)

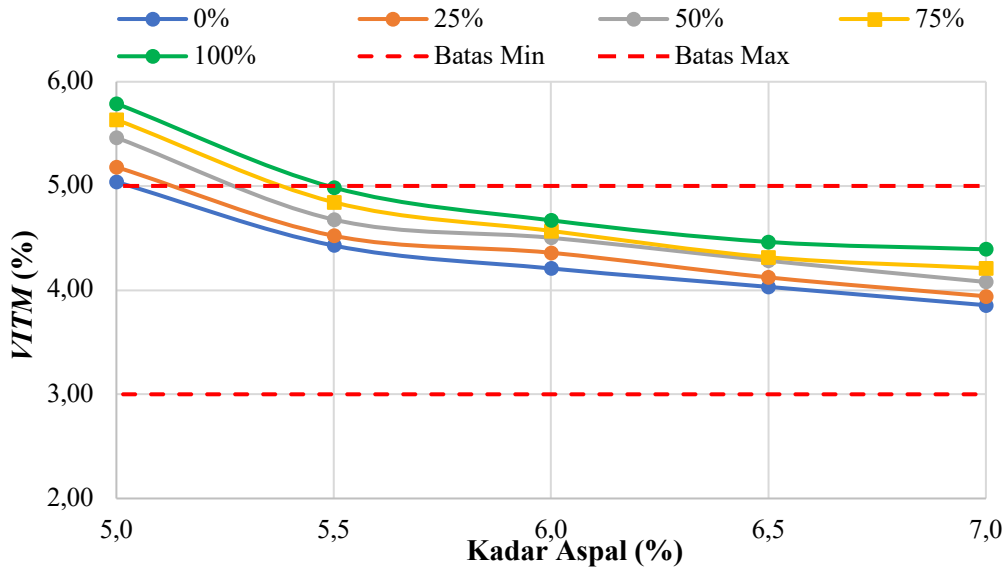
Pengujian karakteristik pengisi bertujuan untuk menentukan sifat bahan pengisi. Berikut adalah pembahasan tentang pengujian bahan pengisi: Berat Jenis *Filler* adalah agregat halus yang lolos saringan no. 200, dan hasilnya adalah 2,53 dari Sungai Clereng, Kulon Progo. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018, hasil pengujian telah memenuhi spesifikasi, yaitu ≤ 8.

5.2.5 Hasil Tinjauan Karakteristik *Marshall* dalam Menentukan Kadar Aspal Optimumm

Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam campuran *AC-BC* ditentukan dengan mengevaluasi berbagai parameter yang sesuai dengan *Marshall Standard*, yaitu stabilitas, *flow, MQ, VFWA, VMA*, dan *VITM*. Hasil pengujian yang dilakukan untuk menentukan nilai KAO dapat dilihat sebagai berikut.

1. *VITM*

Persentase rongga udara yang masih ada setelah campuran aspal dipadatkan disebut *VITM*. Fungsi utama *VITM* adalah salah satu parameter dalam campuran aspal yang mengukur seberapa padat/longgar rongga dalam campuran. Jika nilai *VITM* terlalu tinggi, campuran menjadi mudah dimasuki udara dan air, yang mengurangi daya tahan campuran. Namun, jika nilai *VITM* terlalu rendah, campuran berisiko meleleh atau aspal keluar dari campuran., Berikut adalah nilai *VITM* yang dapat dilihat pada Gambar 5.6.



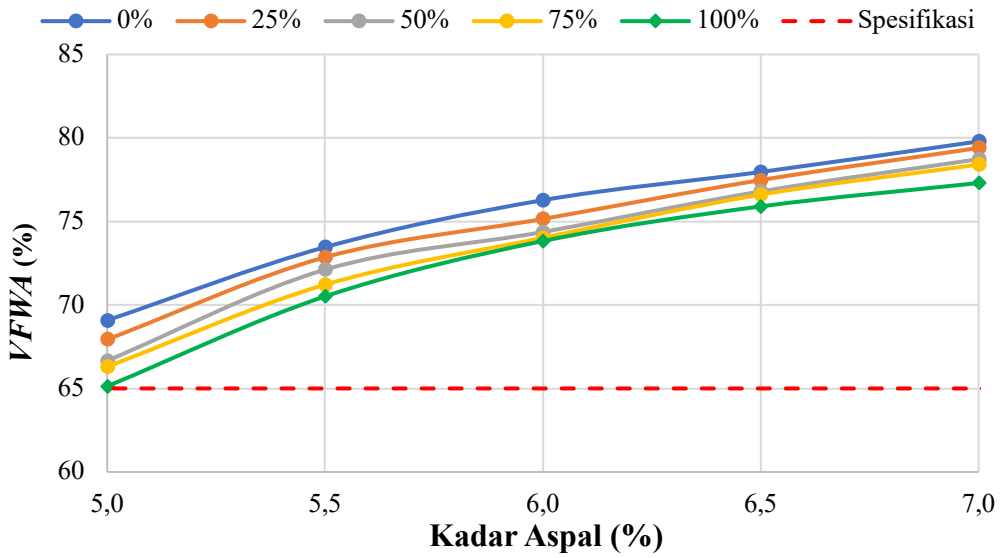
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan *VITM*

Berdasarkan Gambar 5.6, nilai *VITM* menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal mulai dari 5% hingga 7%. Ini disebabkan karena lebih banyak aspal yang mengisi rongga dalam campuran, sehingga rongga udara yang tersisa berkurang. Pada kadar 5% subtitusi 0% hingga 100%, nilai *VITM* tidak memenuhi spesifikasi. Ini karena kadar aspal yang rendah tidak dapat mengisi rongga yang ada pada campuran dengan baik. Nilai *VITM* meningkat pada subtitusi 0% hingga 100%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa rongga dalam campuran lebih besar. Ini disebabkan oleh kurangnya aspal yang mengisi rongga udara dalam campuran

dan bentuk Pasir Pantai Marinsow yang cenderung bulat pipih dan memiliki permukaan licin.

2. *VFWA*

VFWA adalah persen rongga yang telah terisi aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, suhu saat proses pemadatan, dan kadar aspal. Nilai *VFWA* yang lebih tinggi dikaitkan dengan bagian aspal yang lebih besar yang tertutupi rongga, sehingga campuran lebih tahan terhadap air dan udara. Ini karena lapisan aspal yang lebih tebal melindungi rongga antar butir agregat. Nilai *VFWA* ditunjukkan pada Gambar 5.7.



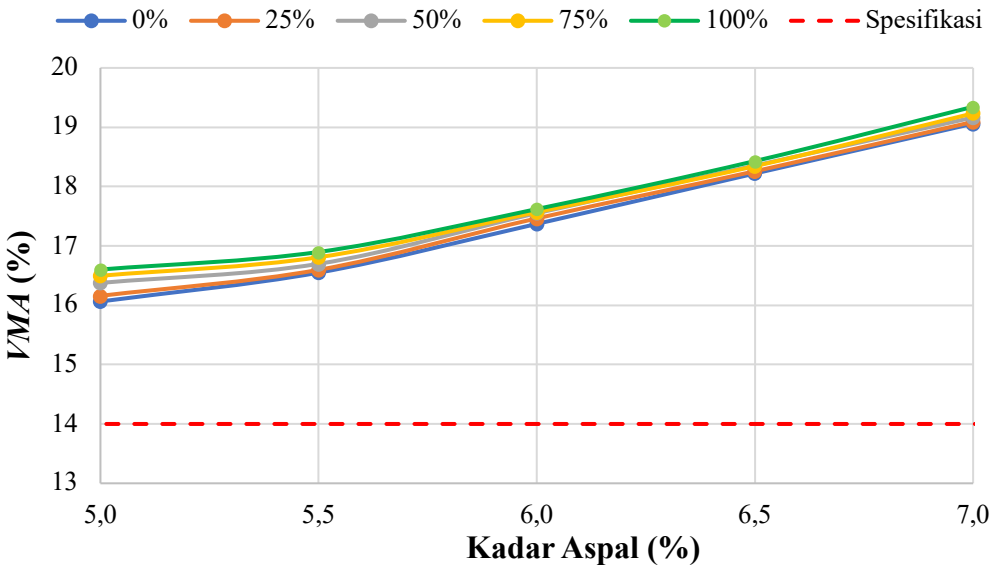
Gambar 5. 7 Hubungan Kadar Aspal dan *VFWA*

Nilai *VFWA* meningkat dengan kadar aspal mulai dari 5% hingga 7%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7. Nilai VFWA meningkat karena banyaknya rongga yang terisi aspal, sehingga campuran menjadi kedap akan air dan lebih fleksibel. Pada subtitusi 100% dengan kadar aspal 5% masih memenuhi spesifikasi. Meskipun nilai *VFWA* mengalami penurunan seiring dengan penambahan subtisusi 0%, 25%, 50%, 75% hingga 100% yang disebabkan oleh aspal yang menyelimuti agregat semakin tipis, sehingga rongga yang terisi aspal

juga semakin sedikit. Maka dari itu nilai *VFWA* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya subtitusi.

3. *VMA*

Persentase rongga yang ada di antara butiran agregat dalam campuran setelah proses pemadatan disebut *VMA*. *VMA* berfungsi sebagai ruang untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran. Gambar 5.8 menunjukkan nilai *VMA*.



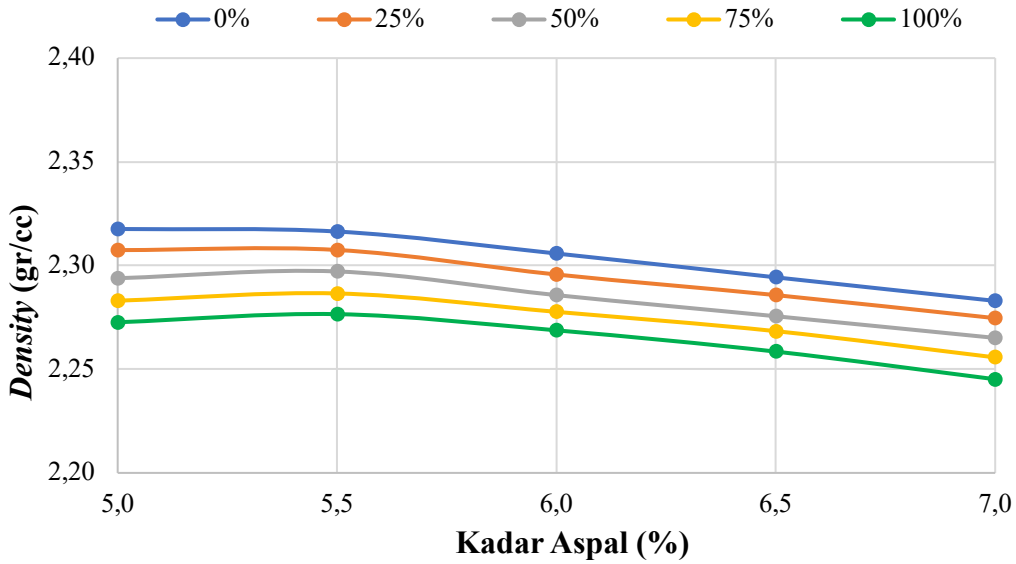
Gambar 5. 8 Hubungan Kadar Aspal dan *VMA*

Gambar 5.8 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, rongga di antara butiran agregat semakin penuh dengan aspal. Akibatnya, nilai *VMA* meningkat karena selimut aspal menjadi lebih tebal seiring bertambahnya kadar aspal 5% hingga 7%. Nilai *VMA* yang terus meningkat membuat rongga agregat terselimuti aspal dengan baik sehingga campuran menjadi lebih kedap dan rapat. Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa nilai *VMA* subtitusi 0% hingga 100% mengalami kenaikan. Nilai *VMA* yang mengalami peningkatan pada subtitusi 0%, 25%, 50%, 75% hingga 100% dikarenakan setiap penambahan variasi subtitusi Pasir Pantai Marinsow rongga antar agregat semakin membesar

tidak penuh terisi oleh aspal, sehingga rongga diantara butiran agregat semakin banyak. Nilai *VMA* pada subtitusi 0% hingga 100% telah memenuhi spesifikasi Bina marga 2018.

4. *Density*

Nilai kepadatan, juga dikenal sebagai density, adalah nilai pada tingkat kepadatan campuran dalam satuan volume. Nilai density ditampilkan pada Gambar 5.9.



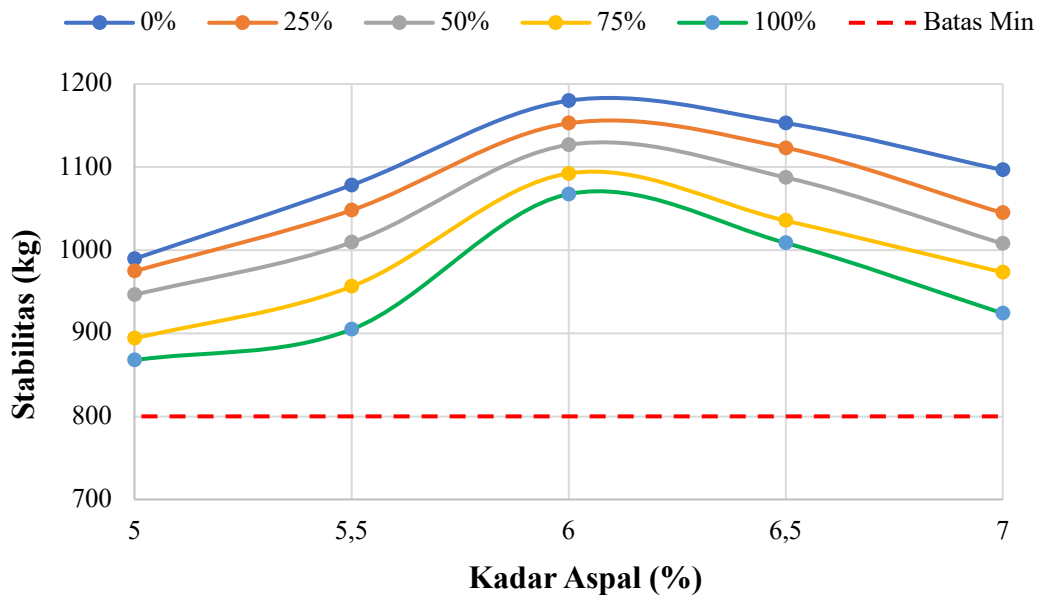
Gambar 5. 9 Hubungan Kadar Aspal dan *Density*

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa nilai *density* menurun, tetapi tidak besar pada setiap penambahan kadar aspal 5% hingga 7%; penurunan ini disebabkan oleh penurunan suhu selama proses pemadatan. Nilai *density* menurun pada subitusi 0%, 25%, 50%, dan 75% hingga 100, karena bentuk Pasir Pantai Marinsow yang pipih dan licin, yang membuatnya sulit untuk mengisi rongga antar agregat. Nilai *density* subtitusi 0% hingga 100% memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018.

5. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu perkerasan untuk menahan kerusakan

yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang dan alur. Bentuk, tekstur permukaan, gradasi agregat, dan kadar aspal adalah faktor-faktor yang sangat mempengaruhi nilai stabilitas. Grafik hubungan kadar aspal terhadap stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.10.



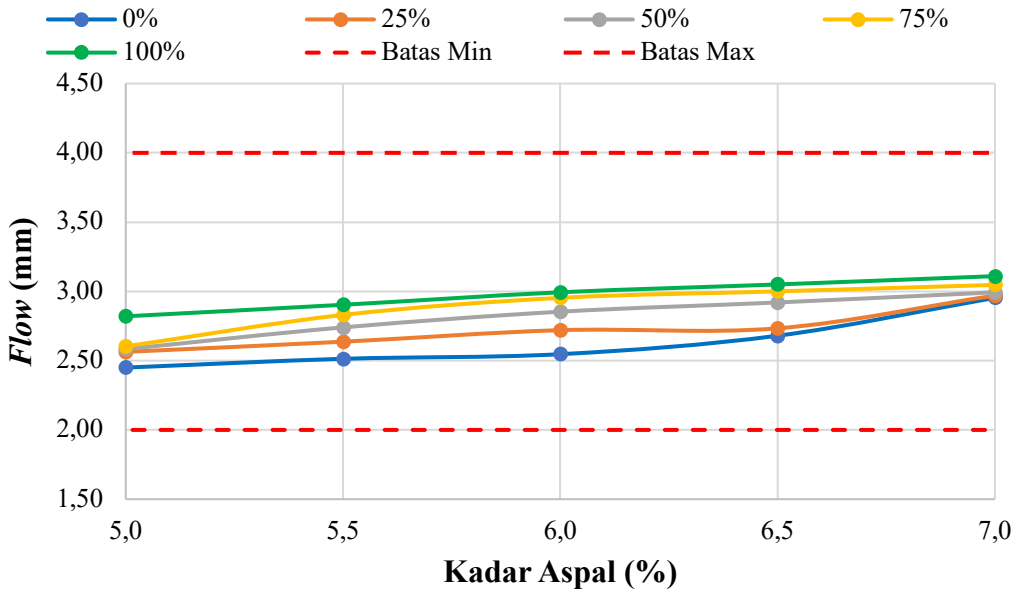
Gambar 5. 10 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas meningkat pada kadar aspal 5% hingga 5,5%, tetapi turun pada kadar aspal 6,5% dan 7%, seperti yang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 5.10 di atas. Pada kadar aspal 5% persen, nilai stabilitas rendah karena kadar aspal yang relatif rendah mencegah aspal menyelimuti agregat dengan baik, menyebabkan campuran menjadi kurang padat. Pada kadar 6% persen, nilai stabilitas mencapai puncaknya, karena ada cukup aspal untuk menyelimuti campuran dengan baik tanpa membuatnya terlalu lembek. Kemudian, pada kadar aspal 6,5 % dan 7 %, nilai stabilitas turun. Penurunan ini disebabkan oleh lapisan aspal yang tebal mengurangi gesekan antar agregat, menurunkan stabilitas campuran. Selain itu, jumlah aspal yang berlebihan melemahkan kohesi agregat dan aspal. Akibatnya, stabilitas yang sebelumnya meningkat mulai menurun karena ikatan antara aspal dan agregat tidak lagi ideal pada kadar aspal yang

terlalu tinggi. Gambar menunjukkan penurunan nilai stabilitas subtitusi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Ini disebabkan oleh Pasir Pantai Marinsow yang memiliki bentuk segitiga pipih dan memiliki tekstur licin permukaan serta lebih halus. Akibatnya, aspal yang menyelimuti agregat semakin tipis, yang mengakibatkan kekuatan antar ikatan yang lebih lemah dan penurunan durabilitas. Namun, memenuhi standar Bina Marga 2018 dengan nilai stabilitas subtitusi 0% hingga 100%, yang berarti lebih dari 800.

6. *Flow*

Pada campuran aspal, *flow* adalah indikator yang menunjukkan tingkat deformasi dari awal pembebanan hingga penurunan stabilitas. Nilai *flow* yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki rongga yang tidak sepenuhnya terisi aspal, yang dapat menyebabkan penurunan daya tahan; sebaliknya, nilai *flow* yang lebih tinggi menunjukkan hal yang sebaliknya. Nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.11.



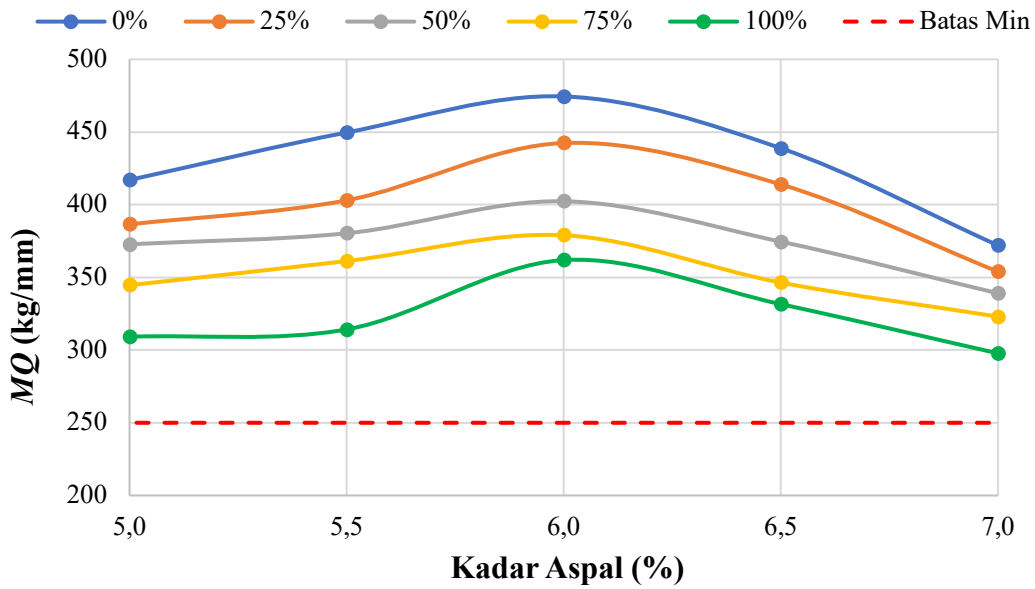
Gambar 5. 11 Hubungan Kadar Aspal dan *Flow*

Nilai *flow* meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal yang digunakan, yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.11 . Peningkatan nilai

flow ini disebabkan oleh peningkatan kadar aspal yang digunakan. Meningkatnya aspal yang menyelimuti agregat menyebabkan nilai *flow* yang terus meningkat. Hal ini membuat campuran lebih plastis, yang menyebabkan deformasi atau perubahan bentuk saat terkena beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar subtitusi Pasir Pantai Marinsow meningkat dari nol hingga seratus persen. Ini disebabkan oleh karakteristik Pasir Pantai Marinsow yang halus, yang memerlukan kadar aspal yang tinggi untuk menyelimuti agregat. Grafik menunjukkan bahwa nilai aliran sudah memenuhi standar Bina Marga 2018, yaitu 2-4 mm.

7. *MQ*

Nilai *MQ* adalah hasil dari nilai stabilitas dan aliran. Nilai MQ yang rendah menunjukkan bahwa campuran lebih fleksibel, yang berarti lebih lentur. Sebaliknya, nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran lebih kaku. Gambar 5.12 menunjukkan nilai *MQ*.



Gambar 5. 12 Hubungan *MQ* dan Kadar Aspal

Nilai *MQ* meningkat dari awal pada 5% hingga 6%, kemudian turun pada 6,5% hingga 7%, menurut Gambar 5.12. Nilai stabilitas dan *flow* mempengaruhi

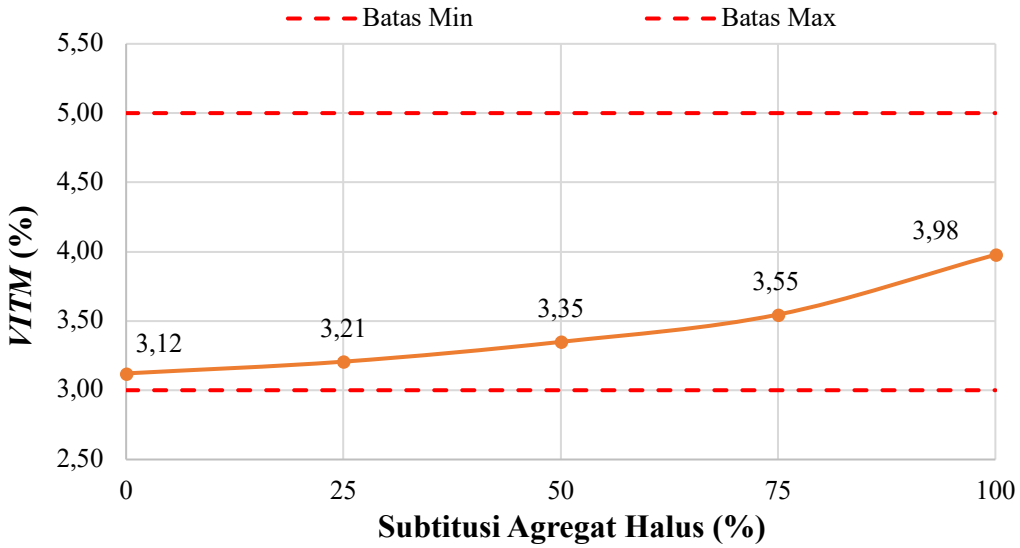
nilai *MQ*. Peningkatan nilai *MQ* disebabkan oleh penurunan suhu campuran selama pemadatan dan distribusi agregat yang tidak merata, juga dapat disebabkan oleh penambahan kadar aspal yang membuat campuran lebih lentur. Nilai *MQ* subtitusi Pasir Pantai Marinsow turun dari 0% hingga 100%. Nilai *MQ* tetap memenuhi standar meskipun mendekati batas minimal yang diperbolehkan meskipun ada penurunan pada subtitusi 100%. Secara umum, nilai *MQ* yang diperoleh telah melebihi standar Bina Marga 2018, yaitu lebih dari 250 kg/mm.

5.2.6 Hasil Pengujian *Marshall* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC*

Hasil uji *Marshall* pada campuran *AC-BC* yang menggunakan Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi menunjukkan bahwa berat jenis Pasir Pantai Marinsow lebih rendah daripada berat jenis agregat Clereng. Perbedaan ini sangat berdampak pada sifat campuran aspal yang dihasilkan. Hasil penelitian tentang efek subtitusi Pasir Pantai Marinsow sebagai agregat halus pada KAO yang diperoleh ditunjukkan sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *VITM*

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *VITM* Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *VITM*

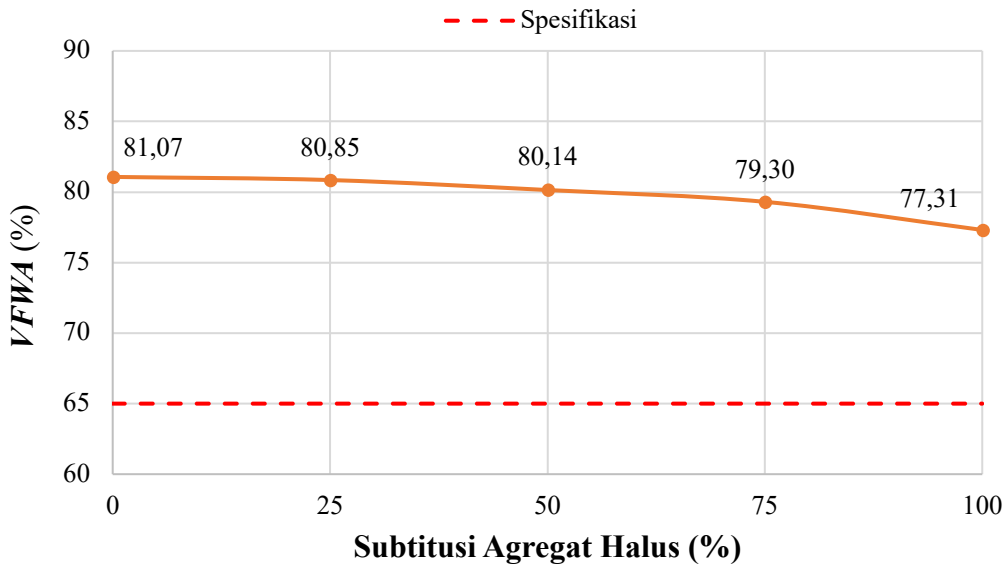
Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.13, dapat diketahui bahwa nilai *VITM* menunjukkan tren peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase subtitusi agregat halus Pasir Pantai Marinsow. Jika dibandingkan antara nilai-nilai tersebut, dapat dihitung perbandingan persentase kenaikan pada setiap interval, antara titik 0%-25%, terjadi kenaikan sekitar 2,88%, antara 25%-50% kenaikan sebesar 4,35%, dan antara 75%-100% terjadi kenaikan terbesar, yaitu sekitar 12,%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi subtitusi agregat halus, semakin tinggi nilai *VITM*.

Peningkatan rongga pada substitusi 0% hingga 100% terjadi akibat rendahnya berat jenis agregat halus Pasir Pantai Marinsow, agregat halus dengan berat jenis lebih rendah memiliki struktur yang lebih berpori atau bentuk partikel yang kurang padat, sehingga menciptakan lebih banyak rongga udara dalam campuran yang mempengaruhi kemampuan *interlocking* antara agregat dan aspal tidak optimal. Tingginya nilai *VITM* menunjukkan bahwa porositas dalam campuran juga bertambah, akibatnya mempermudah air untuk menyerap ke dalam campuran. Sejalan dengan penelitian Riyanto dan Salim dkk (2021) yang menyebutkan bahwa kenaikan nilai *VITM* disebabkan adhesi dari pasir pantai menurun menyebabkan ikatan semakin berkurang sehingga rongganya

mengalami peningkatan. Selaras dengan penelitian Farkhan dan Fauziah (2020), bahwa seiring dengan bertambahnya subtitusi pasir Pantai Indrayanti, nilai *VITM* meningkat karena aspal kurang menyelimuti pasir Pantai dan bentuknya yang cenderung bulat.

2. Analisis PengaruhVariasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *VFWA* Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.14 berikut.



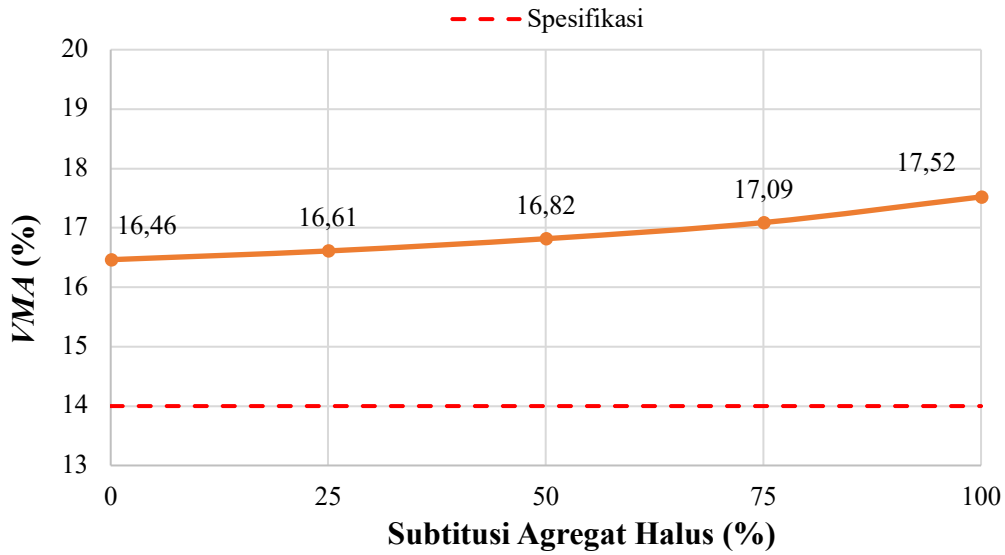
Gambar 5. 14 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik di Gambar 5.14, tampak bahwa angka *VFWA* pada campuran *AC-BC* menunjukkan penurunan seiring dengan peningkatan penggantian Pasir Pantai Marinsow dari 0% hingga 100%. Persentase antara 0%-25% terjadi penurunan 0,27%, titik 25%-50% terjadi penurunan 0,88%, titik 50%-75% terjadi penurunan 1,05%, dan penurunan terbesar terjadi pada interval antara 75%-100%, dengan perubahan sebesar 2,51%. Penurunan nilai *VFWA* seiring dengan penambahan substitusi hingga 100% disebabkan oleh mengecilnya volume

aspal yang mengisi ruang dalam campuran. Pasir Pantai Marinsow dengan tekstur lebih licin permukaan dan pasir berbentuk bulat pipih, menghasilkan lapisan aspal yang lebih tipis di sekitar agregat. Sebagai hasilnya, nilai *VFWA* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya substitusi Pasir Pantai Marinsow. Sejalan dengan studi Chasanah dan Sukmo (2023) yang menyebutkan bahwa semakin rendah nilai *VFWA* dapat mengurangi kedap air serta membuat campuran cepat mengeras dan tidak tahan lama. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ramadhan dan Fauziah (2020), yang menunjukkan bahwa nilai *VFWA* pada setiap peningkatan variasi substitusi pasir pantai sebagai agregat halus mengalami penurunan seiring dengan penambahan variasi substitusi pasir, disebabkan oleh aspal yang melapisi agregat semakin tipis dengan bertambahnya variasi substitusi pasir.

3. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *VMA* Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.15 berikut.



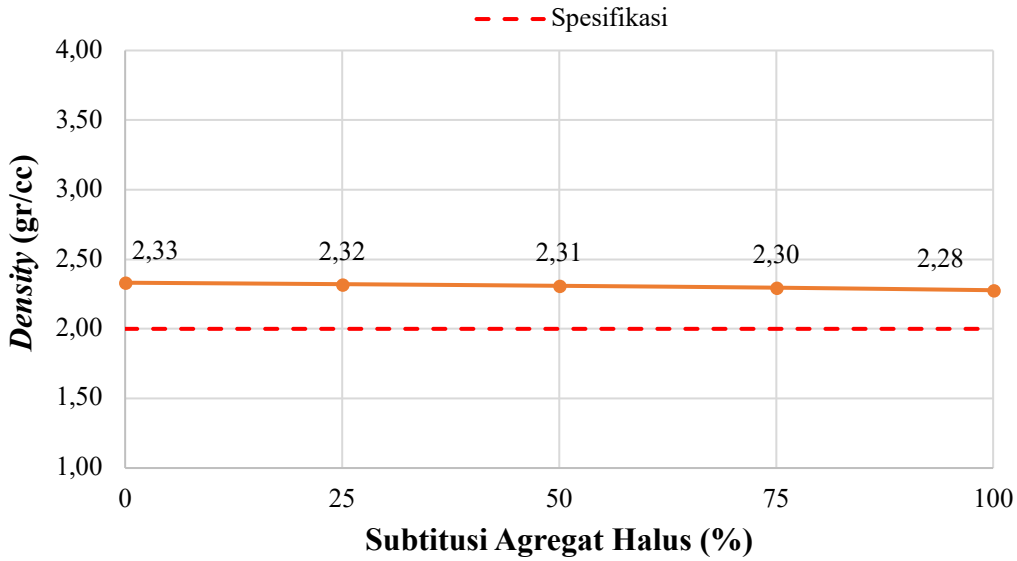
Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik di Gambar 5.15, tampak bahwa setiap variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow ditambahkan sebagai agregat halus, nilai *VMA* menunjukkan peningkatan. Dimulai dari titik 0%-25% dengan selisih 0,91%, pada titik 25%-50% terjadi penurunan 1,27%, pada titik 50%-75% sebesar 1,61%. Peningkatan terbesar terjadi pada interval antara 75%-100%, dengan nilai yang naik lebih besar dibandingkan dengan interval sebelumnya yaitu sebesar 2,51%, peningkatan *VMA* ini menunjukkan adanya pengaruh subtitusi agregat halus Pasir Pantai Marinsow terhadap sifat material, dengan tren kenaikan sepanjang grafik.

Kenaikan nilai *VMA* sejalan dengan penambahan subtitusi 0% hingga 100% terjadi karena Pasir Pantai Marinsow tidak dapat mengisi celah-celah antar butiran dalam campuran secara optimal, yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan mengunci antar agregat di dalam campuran. Temuan ini konsisten dengan studi yang dilakukan oleh Pataras dkk (2017), untuk nilai *VMA* mengalami kenaikan disebabkan oleh pasir yang tidak mengisi celah yang ada, sehingga mengurangi kemampuan *interlocking* dalam campuran, namun tetap memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

4. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *Density*

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *density* Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.16 berikut.



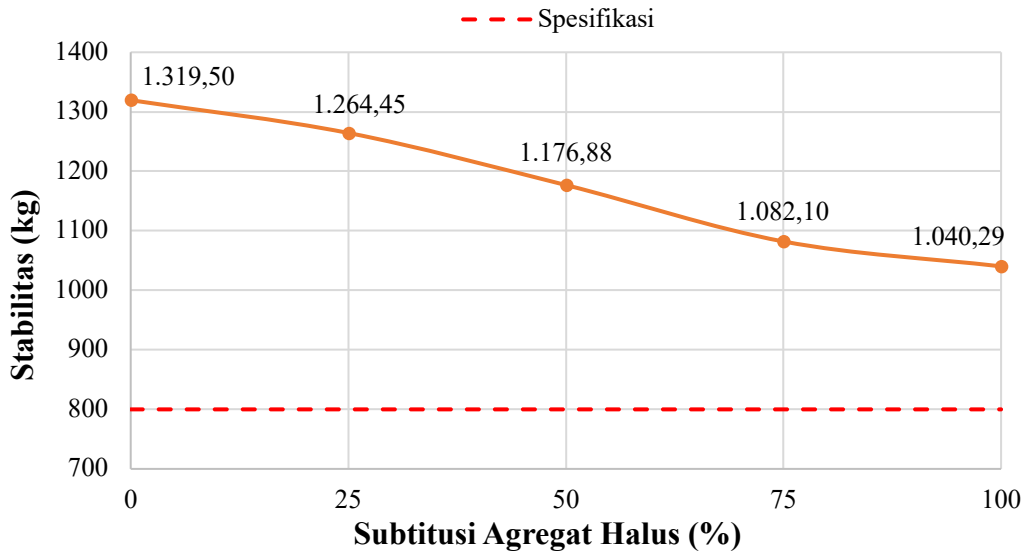
Gambar 5. 16 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *Density*

Menurut grafik di Gambar 5.16, tampak bahwa nilai *density* mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow. Jika dibandingkan antara nilai-nilai tersebut, persentase perubahan *density* antar interval sangat kecil yaitu perubahan antara 0%-75% adalah sekitar 0,43%, dan antara 75%-100% adalah sekitar 0,87%. Secara keseluruhan, nilai *density* tidak banyak terpengaruh oleh perubahan subtitusi agregat halus Pasir Pantai Marinsow. Meskipun ada penurunan nilai *density* pada interval tertentu, penurunannya sangat kecil.

Penurunan nilai *density* terjadi karena substitusi agregat halus Pasir Pantai Marinsow memiliki berat jenis rendah yang menyebabkan lebih banyak rongga udara dalam campuran. Hal ini berdampak pada kepadatan yang lebih rendah dan berpotensi mempengaruhi kinerja campuran. Kemampuan *interlocking* antar butir serta suhu pada proses pemadatan juga mempengaruhi tingkat kepadatan campuran. Campuran dengan nilai kepadatan yang tinggi akan lebih baik dalam menahan beban. Sebaliknya campuran yang memiliki kepadatan yang rendah memiliki peforma yang kurang baik dalam menahan beban.

5. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai stabilitas Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai Stabilitas

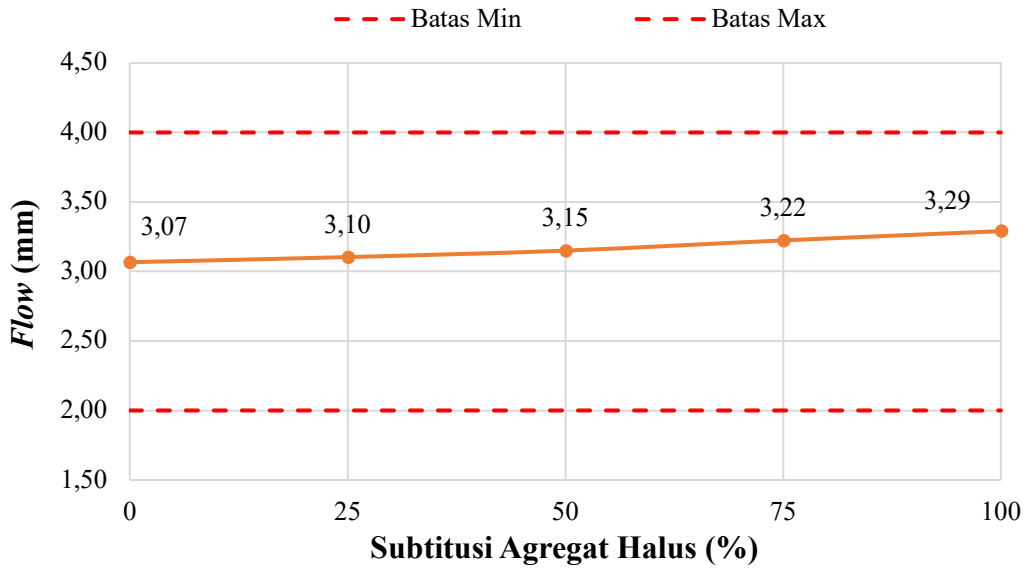
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17, tampak bahwa stabilitas campuran *AC-BC* menurun sejalan dengan meningkatnya variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow. Pada subtitusi 0% menunjukkan bahwa campuran dengan agregat kasar murni memberikan stabilitas tertinggi. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow, stabilitas terjadi penurunan sekitar 4,2%, pada subtitusi 50% terjadi penurunan sekitar 10,8%, pada subtitusi 75% terjadi penurunan sekitar 18%, subtitusi 100% agregat halus terjadi penurunan sekitar 21,1% dari subtitusi 0%. ini muncul karena aspal tidak dapat melapisi agregat secara maksimal. Penurunan nilai stabilitas pada setiap peningkatan substitusi Pasir Pantai Marinsow disebabkan oleh Pasir Pantai Marinsow yang memiliki kerapatan dan kepadatan lebih rendah dibandingkan Pasir Clereng. Hal ini terlihat dari berat jenis Pasir Pantai Marinsow

yang lebih rendah, sehingga volume Pasir Pantai Marinsow menjadi lebih besar dibandingkan Pasir Clereng pada berat yang sama. Akibatnya, jumlah *void* dalam campuran meningkat, menyebabkan kepadatan campuran menurun. Nilai stabilitas menurun menunjukkan bahwa peningkatan proporsi Pasir Pantai Marinsow berpengaruh mengurangi kemampuan campuran untuk menahan beban, disebabkan oleh penurunan kekuatan *interlocking* dalam campuran tersebut.

Hasil temuan ini sejalan dengan studi Arifiardi (2016) yang memicu terjadinya pengurangan nilai stabilitas dalam penggunaan pasir pantai disebabkan oleh lemahnya ikatan antar agregat pasir pantai karena teksturnya yang cenderung bulat sehingga tidak dapat saling mengunci. Akibatnya, tekstur jalan mudah mengalami perubahan bentuk karena ketidakstabilan.

6. Analisis PenagruhVariasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *flow* Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.18 berikut.

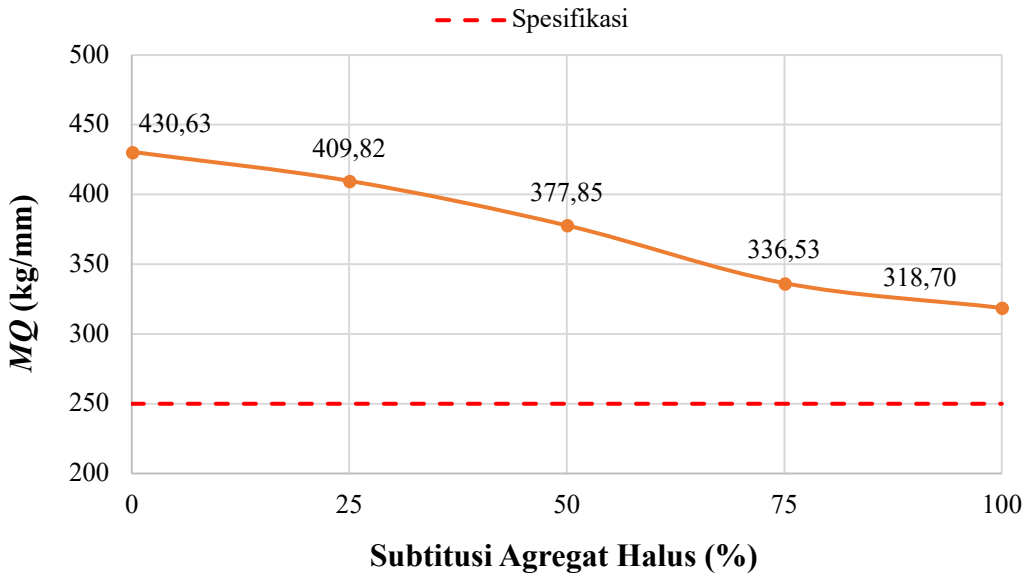


Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik dalam Gambar 5.18, tampak bahwa nilai *flow* pada campuran *AC-BC* meningkat seiring dengan bertambahnya variasi substitusi agregat halus. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow terjadi peningkatan sebesar 0,98%, pada subtitusi 50% terjadi peningkatan sebesar 2,61%, pada subtitusi 75% terjadi peningkatan sebesar 4,88%, subtitusi 100% agregat halus terjadi peningkatan sebesar 7,19% dari subtitusi 0%. Peningkatan ini berlangsung karena setiap penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, persentase aspal yang diterapkan dalam campuran juga meningkat. Peningkatan kadar aspal ini karena permukaan Pasir Pantai Marinsow yang lebih rendah berat jenisnya dibandingkan dengan agregat halus dari Clereng, sehingga campuran membutuhkan lebih banyak aspal untuk menutupi agregat secara merata, sehingga campuran menjadi lebih rentan terhadap deformasi ketika terkena beban lalu lintas. Akibatnya, ikatan antara agregat dan aspal melemah, yang menyebabkan nilai *flow* terus meningkat. Hal ini selaras dengan penelitian Junaedi (2020) *flow* mengalami kenaikan tapi tidak nampak adanya perubahan yang besar, sehingga hasil ini memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.

7. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *MQ* Pasir Pantai Marinsow yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut.



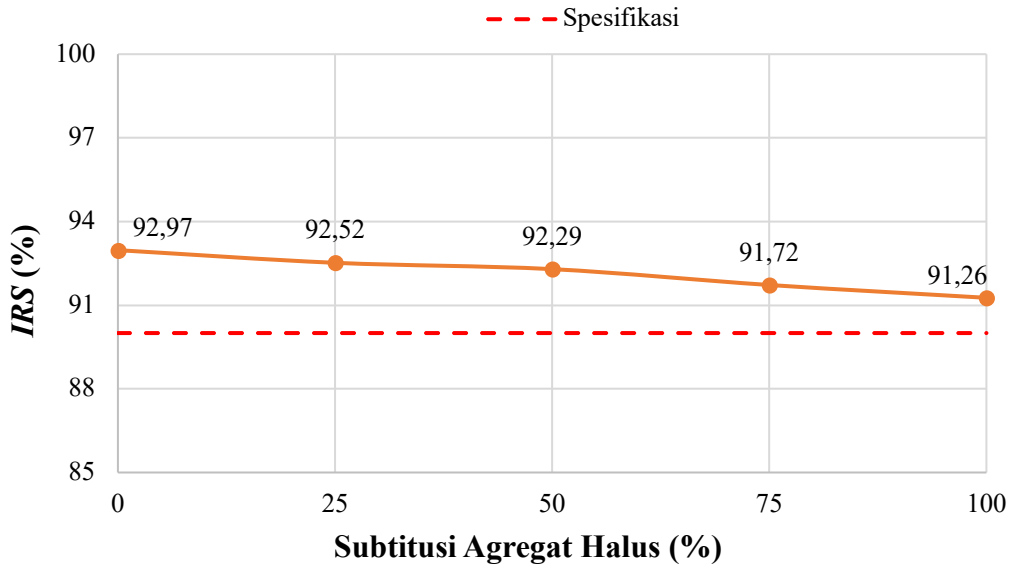
Gambar 5. 19 Grafik Pengaruh Variasi Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan Gambar 5.19, tampak bahwa nilai *MQ* mengalami penurunan sejalan dengan peningkatan substitusi Pasir Pantai Marinsow. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow terjadi penurunan sekitar 4,84%, pada subtitusi 50% terjadi penurunan sekitar 12,33%, pada subtitusi 75% terjadi penurunan sekitar 21,8%, subtitusi 100% agregat halus terjadi penurunan sekitar 25,9% dari subtitusi 0%. Penurunan ini disebabkan oleh Pasir Pantai Marinsow memiliki berat jenis yang rendah dibandingkan dengan Pasir Clereng yang kurang mampu saling mengunci dengan baik antara butiran agregat karena struktur yang lebih berpori, sehingga stabilitas menurun dan nilai *flow* mengalami kenaikan yang menyebabkan campuran menjadi tidak tahan terhadap tekanan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih mudah mengalami deformasi. Sejalan dengan studi Prayoga, dkk (2020) dan Padang , dkk (2021) penurunan nilai *MQ* disebabkan oleh rendahnya ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Penurunan *MQ* ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih fleksibel tetapi kurang kaku, yang dapat meningkatkan risiko deformasi permanen seperti *rutting* (jejak roda) pada perkerasan jalan. Sebaliknya, jika nilai *MQ* tinggi menandakan bahwa campuran aspal tersebut menjadi lebih kaku, yang membuatnya rentan

terhadap keretakan (Hadi dan Fauziah, 2021).

5.2.7 Hasil Tinjauan Karakteristik *IRS* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC*

Tujuan uji *IRS* untuk mengukur ketahanan campuran terhadap pengaruh air, terutama dalam hal kerusakan yang disebabkan oleh kelembapan atau air yang dapat menyebabkan penurunan kualitas ikatan antara aspal dan agregat. Uji *IRS* digunakan untuk menilai kemampuan campuran aspal dalam menghadapi kondisi basah, serta kemampuannya untuk pulih setelah terpapar air, yang penting untuk memastikan kinerja campuran aspal dalam jangka panjang, khususnya di daerah dengan kelembapan tinggi atau hujan lebat. Hasil pengujian *IRS* terhadap variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



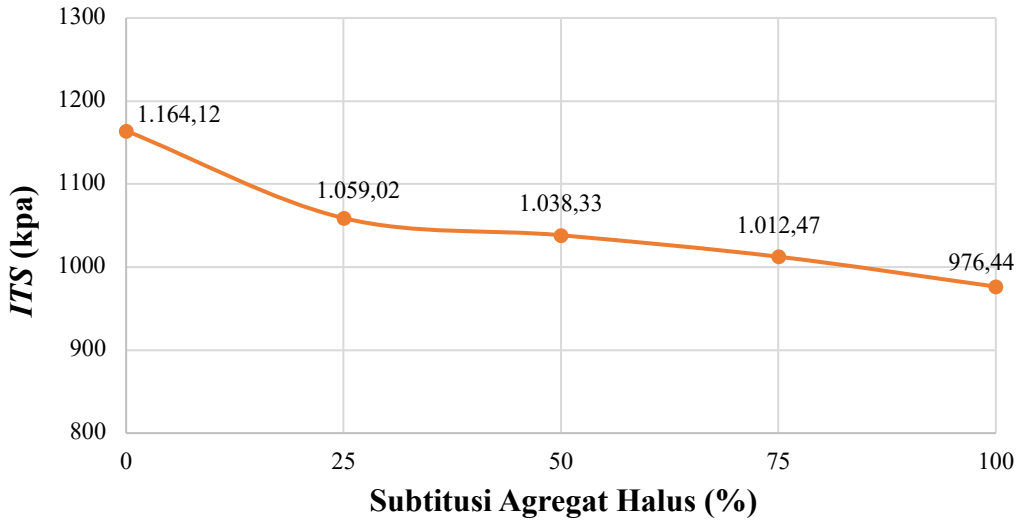
Gambar 5. 20 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow terhadap Nilai *IRS*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20, tampak bahwa nilai *IRS* berkurang seiring bertambahnya variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow sebagai agregat halus, yang mengindikasikan bahwa tingkat kepadatan campuran berkurang. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow terjadi penurunan sekitar 0,48%, pada subtitusi 50% terjadi penurunan sekitar 0,73%, pada subtitusi 75% terjadi

penurunan sekitar 1,35%, subtitusi 100% agregat halus terjadi penurunan sekitar 1,84% dari subtitusi 0%. Penurunan nilai *IRS* pada substitusi antara 0% sampai 100% dipicu oleh Pasir Pantai Marinsow memiliki berat jenis yang rendah dibandingkan Pasir Clereng, sehingga campuran lebih berpori dengan nilai kepadatan dan kerapatan lebih rendah yang memudahkan air untuk masuk dan merusak ikatan antara agregat dengan aspal. Hal tersebut membuat hubungan antara agregat dan aspal menjadi lemah saat terpapar air, yang kemudian membuat penurunan kekuatan campuran setelah proses perendaman. Temuan ini konsisten dengan studi yang dilakukan oleh Ramadhan dan Fauziah (2020), yang menyatakan bahwa nilai *IRS* menurun karena proses perendaman selama 24 jam mengakibatkan air masuk ke dalam pori-pori campuran, sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat. Secara keseluruhan, meskipun terdapat penurunan nilai *IRS* dengan meningkatnya persentase agregat halus Pasir Pantai Marinsow, penurunan tersebut tidak berpengaruh dan nilai *IRS* tetap berada dalam kisaran yang diizinkan oleh spesifikasi.

5.2.8 Hasil Tinjauan Karakteristik *ITS* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC*

Tujuan pengujian *ITS* adalah untuk mengukur kekuatan tarik campuran aspal secara tidak langsung, yang memberikan gambaran mengenai ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat kekuatan tarik, baik pada kondisi normal maupun pada kondisi yang lebih ekstrem, seperti perubahan suhu atau beban lalu lintas. Hasil pengujian *ITS* terhadap variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



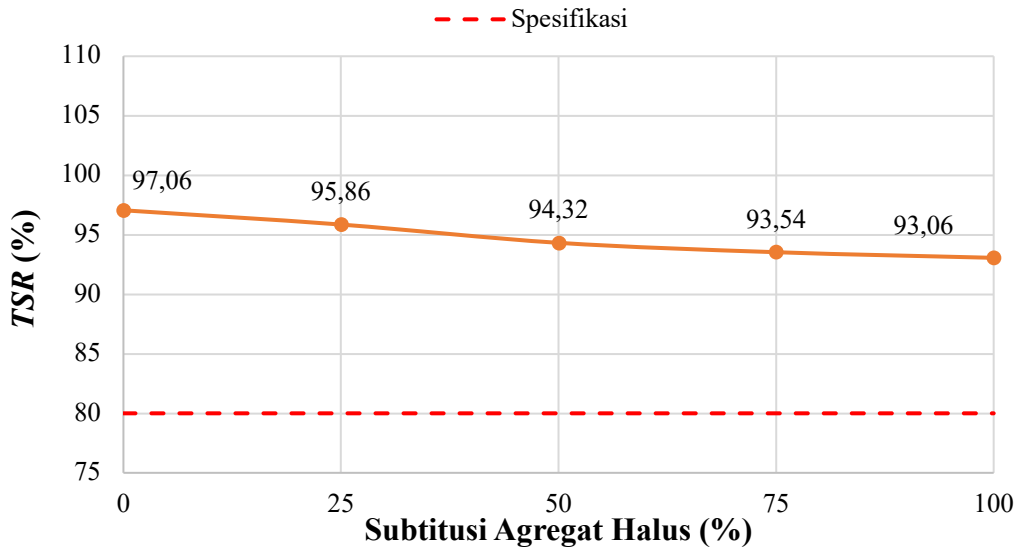
Gambar 5. 21 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow pada Campuran *AC-BC* terhadap Nilai *ITS*

Berdasarkan Berdasarkan grafik di Gambar 5.21, tampak bahwa nilai pengujian *ITS* menurun sejalan dengan peningkatan variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow sebagai agregat halus. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow terjadi penurunan sekitar 9,04%, pada subtitusi 50% terjadi penurunan sekitar 10,81%, pada subtitusi 75% terjadi penurunan sekitar 13,03%, subtitusi 100% agregat halus terjadi penurunan sekitar 16,14% dari subtitusi 0%. Hal ini disebabkan oleh banyaknya ruang dan pori dalam campuran yang menyebabkan berkurangnya kontak antar partikel agregat dan melemahkan ikatan antar material. Akibatnya, campuran menjadi lebih rentan terhadap retak dan memiliki ketahanan mekanis yang lebih rendah terhadap tegangan tarik. Temuan ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Alirusi, dkk (2023) bahwa campuran yang menunjukkan penurunan kekakuan mengakibatkan campuran menjadi lebih lentur, sehingga bahan pengikatnya dengan cepat kehilangan kekuatan untuk mempertahankan ikatannya.

5.2.9 Hasil Tinjauan Karakteristik *TSR* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC*

TSR merupakan pengujian yang bertujuan untuk menilai kekuatan tarik dari campuran beraspal karena dampak beban lalu lintas dan menilai kerusakan pada

campuran aspal dampak dari suhu yang sangat ekstrem. Uji ini dilaksanakan dengan cara merendam selama 24 Jam pada temperatur 60°C. Nilai *TSR* menggambarkan daya tahan campuran aspal pada retakan atau kerusakan yang diakibatkan oleh tegangan tarik. Hasil pengujian TSR terhadap variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



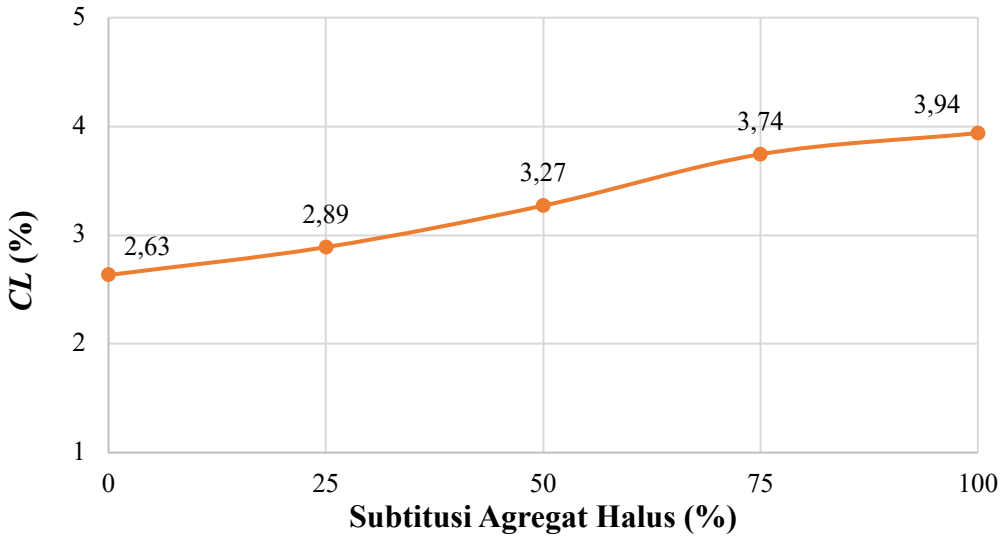
Gambar 5. 22Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow terhadap Nilai *TSR*

Berdasarkan grafik di Gambar 5.22, terlihat bahwa hasil pengujian *TSR* menunjukkan penurunan kinerja seiring dengan meningkatnya variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow sebagai agregat halus. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow terjadi penurunan sekitar 1,24%, pada subtitusi 50% terjadi penurunan sekitar 2,79%, pada subtitusi 75% terjadi penurunan sekitar 3,61%, subtitusi 100% agregat halus terjadi penurunan sekitar 4,15% dari subtitusi 0%. Penurunan nilai *TSR* pada substitusi 0% hingga 100% ini karena berat jenis Pasir Pantai Marinsow lebih rendah dari pada pasir clereng sehingga lebih banyak ruang kosong dalam campuran yang membuat air lebih mudah masuk dan mengurangi daya lekat aspal terhadap agregat. Akibatnya, hubungan antara aspal dan agregat menjadi lebih mudah rusak ketika terkena air karena adanya rongga kosong, yang mengurangi kekuatan tarik setelah campuran

direndam. Temuan ini sejalan dengan studi yang dilaksanakan oleh Tajudin dan Suparma (2017) yang menyatakan bahwa nilai *TSR* semakin menurun akibat pengaruh air yang menyebabkan penurunan kekuatan ikatan antara agregat dan aspal, sehingga menurunkan kuat tariknya. Sejalan dengan studi Zillie, dkk (2023) apabila campuran direndam dengan waktu yang lama maka Stabilitas dan Durabilitasnya semakin kecil.

5.2.10 Hasil Tinjauan Karakteristik *CL* dalam Kondisi KAO pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow Terhadap Campuran *AC-BC*

Tujuan uji *CL* pada setiap variasi subtitusi Pasir Pantai Marinsow terhadap campuran *AC-BC* adalah untuk mengukur ketahanan campuran tersebut terhadap pengikisan atau kehilangan material akibat abrasi, yang terjadi ketika campuran aspal dicampur dengan agregat batu pecah. Uji ini penting untuk menilai seberapa baik campuran *AC-BC* dapat bertahan dalam kondisi fisik tertentu, seperti paparan lalu lintas, cuaca ekstrem, atau kondisi lingkungan lainnya yang dapat menyebabkan keausan. Pengujian *CL* terhadap variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5. 23 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow terhadap Nilai *CL*

Berdasarkan grafik di Gambar 5.23, tampak bahwa nilai pengujian *CL* meningkat seiring bertambahnya variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow sebagai material agregat halus. Pada subtitusi 25% agregat halus Pasir Pantai Marinsow terjadi peningkatan sebesar 9,89%, pada subtitusi 50% terjadi peningkatan sebesar 24,3%, pada subtitusi 75% terjadi peningkatan sebesar 42,2%, subtitusi 100% agregat halus terjadi peningkatan sebesar 50% dari subtitusi 0%. Kenaikan ini mengindikasikan bahwa semakin banyak Pasir Pantai Marinsow yang dimanfaatkan, ketahanan campuran terhadap benturan akan menurun, yang mengakibatkan peningkatan kehilangan berat. Kenaikan nilai *CL* pada subtitusi 0% hingga 100% disebabkan oleh penurunan kepadatan dan daya ikat antara aspal dan agregat, yang membuat campuran lebih mudah terlepas akibat benturan.

5.3 Hasil Peninjauan Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Campuran *AC-BC*

Hasil penelitian yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa berat jenis agregat halus Pasir Clereng lebih tinggi dibandingkan agregat halus dari Pasir Pantai Marinsow. Selain itu, kemampuan penyerapan air pasir Clereng lebih baik dibandingkan dengan daya serap agregat halus Pantai Marinsow. Perbedaan karakteristik ini berpengaruh terhadap penurunan kinerja dalam berbagai pengujian, yaitu *marshall, IRS, ITS, TSR, dan CL*, yang menunjukkan penurunan performa sejalan dengan peningkatan variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow sebagai agregat halus. Ringkasan hasil pengujian yang melibatkan pemakaian Pasir Pantai Marinsow sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC* dapat dilihat secara lebih rinci pada Tabel 5.25 di bawah ini, yang menguraikan berbagai hasil pengujian yang telah dilaksanakan dalam penelitian ini.

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC*

Tinjauan	Parameter	Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Kekuatan Struktur	Stabilitas (kg)	1319,50	1264,45	1176,88	1082,10	1040,29	Semakin tinggi penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai stabilitas mengalami penurunan yang cukup besar, penurunan ini membuat campuran lebih mudah mengalami deformasi.
	Flow (mm)	3,07	3,10	3,15	3,22	3,29	Semakin besar penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *flow* mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar, peningkatan ini membuat campuran menjadi lebih plastis.
	MQ (kg/gr)	430,63	409,82	377,85	336,53	318,70	Semakin banyak penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *MQ* menunjukkan penurunan yang tidak terlalu jauh berbeda, hal ini membuat campuran menjadi lebih plastis dan lebih mudah mengalami deformasi.
	ITS (kpa)	827,18	814,41	783,05	757,42	752,43	Semakin banyak penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *ITS* menunjukkan penurunan yang tidak besar. Namun, campuran menjadi lebih rentan terhadap keretakan.

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC*

Tinjauan	Parameter	Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Volumetrik	*VITM* (%)	3,12	3,21	3,35	3,55	3,98	Semakin banyak penambahan subtitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *VITM* menunjukkan peningkatan yang tidak besar. Kenaikan ini menyebabkan campuran memiliki ruang udara yang lebih luas.
	VFWA (%)	81,07	80,85	80,14	79,30	77,31	Semakin tinggi penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *VFWA* menunjukkan penurunan. Penurunan nilai ini menunjukkan bahwa lapisan aspal pada campuran lebih tipis. Akibatnya, volume rongga yang terisi aspal berkurang dan menjadikan campuran kurang padat.
	VMA (%)	16,46	16,61	16,82	17,09	17,52	Semakin banyak penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *VMA* mengalami kenaikan. Peningkatan nilai ini menunjukkan bahwa rongga dalam campuran meningkat.
	Density (%)	2,33	2,32	2,31	2,30	2,28	Seiring dengan meningkatnya penambahan subtitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *Density* menunjukkan penurunan. Penurunan nilai ini menunjukkan berkurangnya kepadatan campuran.

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Pantai Marinsow Sebagai Subtitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC*

Tinjauan	Parameter	Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Durabilitas	*IRS* (%)	92,97	92,52	92,29	91,72	91,26	Semakin meningkatnya penambahan substitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *IRS* menunjukkan penurunan. Kenaikan nilai ini menunjukkan berkurangnya ketahanan campuran terhadap air, temperatur, dan udara.
	TSR (%)	97,06	95,86	94,32	93,54	93,06	Semakin banyak penambahan subtitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *TSR* menunjukkan penurunan. Peningkatan nilai ini menunjukkan penurunan ketahanan campuran terhadap air dan suhu yang ekstrem.
	CL (%)	2,63	2,89	3,27	3,74	3,94	Semakin tinggi penambahan subtitusi Pasir Pantai Marinsow, nilai *CL* menunjukkan peningkatan. Peningkatan nilai ini menunjukkan berkurangnya ketahanan campuran terhadap benturan.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisis data pengaruh subtitusi agreggat halus Pasir Pantai Marinsow pada campuran *AC-BC,* maka dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Hasil uji untuk sifat fisik pasir dari Pantai Marinsow menunjukkan bahwa pasir ini memiliki berat jenis sebesar 2,62 dengan nilai penyerapan air sebesar 0,13%, serta hasil pengujian *sand equivalent* yang mencapai 97,67%. Berdasarkan hasil tersebut, pasir dari Pantai Marinsow memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam spesifikasi Bina Marga tahun 2018 Revisi 2, yang menunjukkan bahwa pasir ini cocok digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran aspal.
2. Hasil pengujian karakteristik *Marshall* menunjukkan bahwa nilai stabilitas, *flow, MQ, VITM, VFWA, VMA*, dan *density* memenuhi standar yang telah ditentukan. Stabilitas dan nilai *MQ* menunjukkan penurunan progresif seiring bertambahnya proporsi Pasir Pantai Marinsow pada variasi 0%, 25%, 50%, 75%, hingga 100%. Di sisi lain, nilai aliran menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan setiap kenaikan proporsi Pasir Pantai Marinsow. Untuk nilai *VFWA*, terdapat penurunan seiring bertambahnya variasi Pasir Pantai Marinsow. Selama itu, baik nilai *VITM* maupun *VMA* menunjukkan kenaikan seiring dengan semakin banyaknya variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow.
3. Hasil pengujian *IRS* pada campuran *AC-BC* dengan subtitusi Pasir Pantai Marinsow 0%, 25%, 50%, 75%, 100% menunjukan penurunan nilai *IRS* sejalan dengan peningkatan proporsi substitusi Pasir Pantai Marinsow. Ini disebabkan oleh tekstur Pasir Pantai Marinsow yang lebih lembut dan licin, sehingga mengurangi kekuatan ikatan antara agregat dan aspal. Walaupun

ada penurunan, nilai *IRS* masih memenuhi kriteria yang ditentukan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2, yang mengharuskan nilai *IRS* sekurang-kurangnya 80%.

4. Nilai *ITS* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya substitusi Pasir Pantai Marinsow, hasil ini menunjukkan bahwa campuran aspal lebih mudah mengalami keretakan. Ini disebabkan oleh lapisan aspal yang lebih tipis yang menutupi agregat dan tekstur Pasir Pantai Marinsow yang lebih halus serta licin, yang mengurangi kekuatan ikatan antara agregat dan aspal.
5. Berdasarkan hasil uji *TSR* pada campuran *AC-BC* dengan variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow sebesar 0%, 25%, 50%, dan 100%, terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai *TSR* seiring bertambahnya substitusi Pasir Pantai Marinsow. Penurunan ini disebabkan oleh tekstur pasir yang lebih lembut dan kurang mampu membentuk ikatan yang kokoh dengan aspal, sehingga menurunkan ketahanan campuran terhadap suhu. Walaupun terdapat penurunan nilai *TSR* pada setiap kenaikan persentase substitusi, hasil uji menunjukkan bahwa nilai *TSR* tetap sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
6. Hasil pengujian *CL* menunjukkan bahwa kerentanan campuran aspal terhadap benturan meningkat dengan bertambahnya substitusi Pasir Pantai Marinsow. Permukaan pasir yang lebih halus dan bentuk agregat yang cenderung bulat mengurangi kekuatan ikatan agregat dan aspal, sehingga membuat campuran lebih rentan lepas akibat benturan. Namun, nilai *CL* untuk seluruh variasi substitusi Pasir Pantai Marinsow tetap memenuhi spesifikasi AASHTO TP 108-14 (2020), yang berada di kisaran 10-25%.
7. Berdasarkan hasil dari setiap pengujian yang telah dilakukan pada tiap variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Marinsow 25%, 50%, 75%, dan 100% didapatkan bahwa Pasir Pantai Marinsow dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus pada campuran *AC-BC* karena memenuhi semua spesifikasi.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan, maka diperoleh beberapa saran sebagai berikut

1. Pasir Pantai Marinsow dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus dari Clereng hingga tingkat substitusi mencapai 100%.
2. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi penggunaan Pasir Pantai Marinsow sebagai pengganti agregat halus dalam jenis campuran lain.
3. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji kandungan mineral yang terkandung dalam Pasir Pantai Marinsow.

DAFTAR PUSTAKA

Alirusi, R., Maryam, dan Massara, A. 2023. Studi Experimental Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan Penambahan Zat Aditif *Polyrethane* terhadap Ketahanan Deformasi dan Modulus Elastis. *Innovative: Journal of Social Research,* 3(3), 5001–5015.

Arifiardi, I., Hadi, W., dan Purnomo, A. 2016. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Carita Sebagai Campuran Agregat Halus pada Lapis Permukaan Aspal Beton Terhadap Persyaratan Parameter *Marshall*. *Jurnal Menara*, *11*(1), 112–127.

Chasanah, F., dan Sukmo, T. A. 2023. Pengaruh Bubuk *Talk* Sebagai Bahan *Filler* Pengganti pada Campuran *AC-WC*. *AJIE - Asian Journal of Innovation and Entrepreneuship*, *7*(3), 82–90

Dewi, N., dan Ansyari, A. 2023. Pengaruh Pasir Pantai Sebagai Pengganti Pasir pada Umumnya terhadap *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*. Jurnal Rekayasa Konstruksi (JRK), 1(2), 20–29.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, (Revisi 2).

Febry Zillie, M., Putra, S., Herianto, D., dan Sulistyorini, R., 2023, Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* dengan Menggunakan Agregat Tanjungan Lampung Selatan

Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2021. *Comparative Study of Marshall Properties and Durability of Superpave and AC-WC Pavement by Using Starbit E-55 and Pen 60/70. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 933, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.

Hamdani, H. N., Rifqi, M. G., dan Amin, M. S. 2020. Pengaruh Penggunaan Pasir Puger Sebagai Agregat Halus Terhadap Karakteristik (LASTON *AC-WC*). *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, *1*(2), 23–28.

Jaya, T. M., Bahri, S., dan Razali, M. R., Studi Penggunaan Pasir Laut Sebagai Filler Pada Campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*, *Jurnal Inersia April 2018 Vol.10 No.1*

Junaedi, D. R., 2020 . Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Perkerasan Laston *AC-BC*

Kusharto, H. 2004. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai terhadap Sifat Marshall dalam Campuran Beton Aspal. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Terhadap Sifat *Marshall* Dalam Campuran Beton Aspal, *12*(3), 91–99.

M, Sukamto. H. 2020. Penggunaan Pasir Sungai Progo sebagai Pengganti Agregat Halus dalam Beton Aspal Campuran *AC-WC*. In *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat dengan tema "Kesehatan Modern dan Tradisional."* Yogyakarta.

Padang, T. A. dan Wedyantadji, B., 2021, Pengaruh Pasir Pantai Sebagai Pengganti Agregat 0/5 Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)*

Pataras, M., Arliansyah, J., Rangkuti, P., dan Roynaldo, B. 2017. Analisis Penggunaan Pasir Pantai, Darat, dan Sungai terhadap Kinerja Laston dan Lataston Wearing Course. In *Jurnal Teknik Sipil Unsri*.

Prasetyo, E., Kurniawan, S., dan Hadijah, I. 2021. Analisis Perbandingan Pasir Laut dan Pasir Sungai Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas *(AC - BC)* dengan Pengujian Marshall. *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, *2*(2), 178–189.

Pratama, G. N. I. P. P., dan Najihan, H. F. 2020. *The Effect of Beach Sands to Replacement of Fine Aggregate with Addition Filler of Ash Cane on the Asphalt Mixture on Marshall Characteristics*. *Journal of Physics: Conference Series*, *1625*(1).

Prayoga, D., Winarto, S., dan Cahyo, Y. 2020. Penelitian Campuran Lataston Ac - Wc dengan Menggunakan Agrerat Halus Limbah Batubara. *JURMATEKS*, *3*(1),141–15

Purbanto, I. G. R., Thanaya, I. N. A., dan Saraswati, A. I. R. A. 2023. Karakteristik HRS-WC dengan Agregat Halus Disubstitusi Pasir Pantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *27*(1), 124–130.

Ramadhan, F., dan Fauziah, M. 2020. Kinerja Campuran *SMA* dengan Menggunakan Pasir Pantai Indrayanti sebagai Pengganti Agregat Halus. *Teknisia*, *25*(1), 34–42.

Refi, A. 2015. Efek Pemakaian Pair Laut Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas (*AC-BC*) Dengan Pengujian Marshall. Jurnal Teknik Sipil ITP Vol.2 No.1 Januari 2015 ISSN: 2354-8452 , 5-12.

Riyanto, A., dan Salim. 2021. Komparasi Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai dan Pasir Sungai Sebagai Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap *Marshall Properties, Workability,* dan Aspek Ekonomis. Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon, *6*(1).

Ruiz, G., Chávez, F., Santamaría, S., Araujo, W., Timaná, J., dan Schmitt, R. 2020.

Laboratory Evaluation of Seashells used as fine Aggregate in Hot Mix Asphalt. *International Journal of Pavement Engineering*, *21*(5), 620–628.

Salsabilla, S. N., Weimintoro, Nurhidayatuloh, M., dan Renggani, G. 2022. Pengaruh Hasil Tes Marshal pada Aspal dengan Penggunaan Pasir Pantai Alam Indah Tegal Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Ac-Bc. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, *13*(1), 53–63.

Setiyo, G., Aditama, V., dan Wedyantadji, B. 2020. Pengaruh Pasir Pantai Sipelot sebagai Pengganti Agregat 0/5 *Campuran Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*. *Sondir*, *4*(2), 44–52.

Shabrina, A., Riyanto, A., Sunarjono, S., dan Harnaeni, S. R. 2019. Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala Sebagai Bahan Tambah Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* Terhadap *Marshall Properties* Dan Nilai Struktural. Simposium Nasional RAPI XVIIII, 19, 1–8.

Soepri, W. 2010. *Pengaruh Karakteristik Laut dan Pantai terhadap Perkembangan Kawasan Kota Pantai*. Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

Subagyo, S., Yosef, E., dan Nana, M., 2023, PENGENDALIAN MUTU PELAKSANAAN ASPAL BETON *(AC-BC)*, no. 1, *Advance Access published* 2023

Sumiati dan Hasan Arfan, 2013, KERUSAKAN DINI LAPISAN PERKERASAN ASPAL BETON *AC-BC*, PILAR Jurnal Teknik Sipil, Volume 9, No. 2, September 2013, Vol. 7

Tajudin, A. N., dan Suparma, L. B. 2017. Pengaruh Rendaman pada *Indirect Tensile Strength* Campuran *AC-BC* dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. Media Komunikasi Teknik Sipil, 23(2), 166–173.

LAMPIRAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,43	24,54
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,59	47,39
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,16	22,85
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,07	26,27
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,64	1,73
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,67	47,4
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,6	21,13
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,56	1,72
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,05	1,006
10	Rata-rata BJ Aspal	1,029	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachtiar Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 2 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans ± 135^{o}C
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang ± 28^{o}C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25^{o}C	60 menit	suhu water bath ± 25^{o}C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25^{o}C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat ± 25^{o}C

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	164 cm	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab/Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 3 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

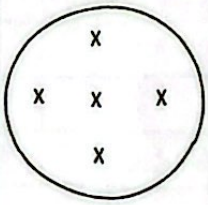
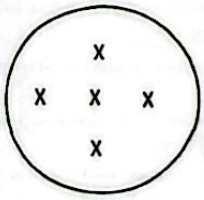
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN; AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	65	66			
2	64	65			
3	68	68			
4	66	65			
5	67	69			
Rata2	66	66,6			
Rata2	66,3				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	320 °C	10.20 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	315 °C	320 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	315 °C	320 °C	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

ampiran 5 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	49 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	525 detik	527 detik	48°C	49°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam *TCE*

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCl4 / TCE

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Wakktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20 WIB	28 °C
		Selesai	13.30 WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30 WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40 WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45 WIB	28 °C
		Selesai	14.15 WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15 WIB	130 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30 WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji				Keterangan
		1		2		
1	Berat erlen meyer kosong	58,580	gr	56,110	gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	60,110	gr	57,530	gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,530	gr	1,420	gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,540	gr	0,550	gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,550	gr	0,560	gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010	gr	0,010	gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,654	%	0,704	%	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,346	%	99,296	%	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,321			%	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachtiar Kusnan, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1615,55	1623,28	1619,42
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000	1000	1000
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1588,66	1584,13	1586,40
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,581	2,542	2,561
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,625	2,604	2,614
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,699	2,712	2,705
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,693	2,471	2,082
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,640	2,627	2,633

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda Uji**			
	Mulai	25°C	08.00 WIB	
	Selesai	150°C	08.15 WIB	
2	**Didiamkan Pada Suhu Ruang**			
	Mulai	150°C	08.15 WIB	
	Selesai	25°C	09.45 WIB	
3	**Perendaman benda uji**			
	Mulai	25°C	09.45 WIB	
	Selesai	25°C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	99%	
2	Sampel 2	97%	
	Rata-rata	98%	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Loss Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

No	Jenis Gradasi Saringan		B Benda Uji (gram)		Keterangan
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		3945,00	4123,00	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		21,100	17,540	
17	Rata-rata Keausan (%)		19,32		

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	634,97	681,61	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	950,70	1004,25	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	485,83	485,92	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,637	2,740	2,688
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,713	2,819	2,766
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,856	2,976	2,916
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,917	2,898	2,907
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,746	2,858	2,802

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertha Kristi Ardhiati, MPM., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 11 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir Pantai Marinsow

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Pantai Marinsow, Kab. Minahasa Utara, Sulawesi Utara
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	652,73	667,07	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	960,95	977,24	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	488,68	487,41	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,550	2,560	2,56
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,600	2,640	2,62
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,707	2,750	2,73
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	0,023	0,250	0,14
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,629	2,655	2,64

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 12 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan		Benda uji 1	Benda uji 2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	15.40	15.40	
		Selesai	15.50	15.50	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	15.55	15.55	
		Selesai	16.15	16.15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,42	4,52	4,47
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,10	4,20	4,15
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$		92,76	92,92	92,84
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		7,24	7,08	7,16

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 13 Pemeriksaan Sand Equivalent Pasir Pantai Marinsow

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Pantai Marinsow, Kab. Minahasa Utara, Sulawesi Utara
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan		Benda uji 1	Benda uji 2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	14:40	14:45	
		Selesai	15:00	15:05	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	15:00	15:05	
		Selesai	15:10	15:15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,30	4,30	4,30
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,20	4,20	4,20
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$		97,67	97,67	97,67
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		2,33	2,33	2,33

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 14 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
2 Sumber Material : Clereng
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	20,45	23,81	
2	Berat Vicnometer + Air gr	42,87	46,97	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,42	23,16	
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	28,54	30,29	
5	Berat *Filler* (4-1) gr	8,090	6,480	7,29
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	47,800	50,910	49,36
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,260	20,620	19,94
8	Volume *Filler* (3-7) gr	3,160	2,540	2,85
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	2,560	2,551	2,556

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Bernardus Kushartomo, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 15 Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 5%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM VARIASI SUBTITUSI PASIR PANTAI MARINSOW DENGAN KADAR ASPAL 5%

Tanggal Pengujian : 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiksa Oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	64,89	5,26	5	1177	1185,4	677,04	508,4	2,315	2,441	11,015	83,854	5,131	16,15	68,22	5,13	70	1018,03	0,95	964,01	2,15	448,38
0B	65,78	5,26	5	1173,93	1185,5	670,35	515,11	2,279	2,441	10,842	82,537	6,621	17,46	62,09	6,62	75	1090,74	0,94	1023,80	2,11	485,21
0C	64,95	5,26	5	1178,75	1181,2	681,45	499,79	2,358	2,441	11,220	85,417	3,363	14,58	76,94	3,36	70	1018,03	0,96	981,04	3,09	317,49
								2,318					**16,06**	**69,08**	**5,04**				**989,62**	**2,45**	**417,03**
25A	65,10	5,26	5	1177,47	1185	674,05	510,95	2,304	2,434	10,963	83,734	5,303	16,27	67,40	5,30	68	988,94	0,96	949,38	2,87	330,80
25B	66,03	5,26	5	1169,17	1182,57	675,77	506,8	2,307	2,434	10,975	83,825	5,200	16,18	67,85	5,20	73	1061,66	0,94	1000,68	2,17	461,14
25C	65,28	5,26	5	1180,05	1188,29	677,63	510,66	2,311	2,434	10,993	83,965	5,041	16,03	68,56	5,04	70	1018,03	0,96	973,87	2,65	367,50
								2,307					**16,16**	**67,94**	**5,18**				**974,64**	**2,56**	**386,48**
50A	65,59	5,26	5	1177,98	1185,24	670,5	514,74	2,288	2,426	10,887	83,427	5,686	16,57	65,69	5,69	69	1003,48	0,95	954,06	2,87	332,43
50B	66,11	5,26	5	1179,67	1187,88	672,33	515,55	2,288	2,426	10,886	83,416	5,699	16,58	65,64	5,70	70	1018,03	0,94	958,09	2,78	344,64
50C	64,88	5,26	5	1177,88	1184,19	673,17	511,02	2,305	2,426	10,966	84,027	5,007	15,97	68,65	5,01	66	959,85	0,97	926,66	2,10	441,27
								2,294					**16,38**	**66,66**	**5,46**				**946,27**	**2,58**	**372,78**
75A	64,80	5,26	5	1177,41	1184,86	670,1	514,76	2,287	2,419	10,882	83,659	5,460	16,34	66,59	5,46	66	959,85	0,95	907,24	2,69	337,26
75B	66,17	5,26	5	1179,13	1185,28	677,76	507,52	2,323	2,419	11,053	84,976	3,971	15,02	73,57	3,97	67	974,40	0,90	872,33	2,35	371,20
75C	64,70	5,26	5	1175,1	1187,85	662,9	524,95	2,238	2,419	10,649	81,874	7,477	18,13	58,75	7,48	65	945,31	0,95	901,59	2,77	325,48
								2,283					**16,50**	**66,30**	**5,64**				**893,72**	**2,60**	**344,65**
100A	64,84	5,26	5	1171,75	1181,7	666,14	515,56	2,273	2,412	10,812	83,403	5,785	16,60	65,15	5,78	61	887,14	0,97	857,42	3,00	285,81
100B	65,63	5,26	5	1177,99	1187,37	670,5	516,87	2,279	2,412	10,842	83,634	5,523	16,37	66,25	5,52	65	945,31	0,95	898,05	2,60	345,40
100C	64,65	5,26	5	1170,28	1182,33	665,89	516,44	2,266	2,412	10,780	83,156	6,063	16,84	64,00	6,06	60	872,60	0,97	847,44	2,86	296,31
								2,273					**16,60**	**65,13**	**5,79**				**867,63**	**2,82**	**309,17**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 16 Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 5,5%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM VARIASI SUBTITUSI PASIR PANTAI MARINSOW DENGAN KADAR ASPAL 5,5%

Tanggal Pengujian : 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiksa Oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	65,38	5,82	5,5	1174,68	1180,6	678,84	501,8	2,341	2,424	12,251	84,34	3,409	15,66	78,23	3,41	75	1090,74	0,95	1041,46	2,03	513,03
0B	65,41	5,82	5,5	1170,63	1180,8	668,67	512,12	2,286	2,424	11,962	82,35	5,688	17,65	67,77	5,69	80	1163,46	0,95	1110,16	2,17	511,59
0C	66,01	5,82	5,5	1174,98	1181,0	675,03	505,97	2,322	2,424	12,153	83,661	4,187	16,34	74,38	4,19	79	1148,92	0,94	1083,36	3,34	324,36
								2,316					**16,55**	**73,46**	**4,43**				**1078,32**	**2,51**	**449,66**
25A	65,94	5,82	5,5	1170,04	1182,75	670,84	511,91	2,286	2,417	11,961	82,613	5,426	17,39	68,79	5,43	79	1148,92	0,94	1084,94	3,12	347,74
25B	65,80	5,82	5,5	1174,44	1181,93	674,75	507,18	2,316	2,417	12,118	83,697	4,185	16,30	74,33	4,19	75	1090,74	0,95	1032,80	2,30	449,04
25C	66,77	5,82	5,5	1175,5	1182,26	675,85	506,41	2,321	2,417	12,147	83,899	3,953	16,10	75,45	3,95	76	1105,29	0,93	1026,54	2,49	412,26
								2,308					**16,60**	**72,86**	**4,52**				**1048,09**	**2,64**	**403,01**
50A	64,32	5,82	5,5	1178,63	1185,67	677,94	507,73	2,321	2,410	12,148	84,18	3,672	15,82	76,79	3,67	75	1090,74	0,98	1068,47	2,17	492,38
50B	65,42	5,82	5,5	1169,39	1180,77	669,02	511,75	2,285	2,410	11,958	82,864	5,178	17,14	69,78	5,18	70	1018,03	0,95	971,26	2,90	334,92
50C	65,26	5,82	5,5	1173,65	1185,75	672,11	513,64	2,285	2,410	11,957	82,86	5,182	17,14	69,76	5,18	71	1032,57	0,96	988,17	3,15	313,70
								2,297					**16,70**	**72,11**	**4,68**				**1009,30**	**2,74**	**380,34**
75A	65,80	5,82	5,5	1169,84	1180,41	668,75	511,66	2,286	2,403	11,965	83,184	4,851	16,82	71,15	4,85	60	872,60	0,95	826,29	3,70	223,32
75B	65,89	5,82	5,5	1170,31	1183,23	669,13	514,1	2,276	2,403	11,913	82,823	5,264	17,18	69,35	5,26	74	1076,20	0,95	1020,91	2,17	470,47
75C	66,49	5,82	5,5	1174,54	1185,05	673,67	511,38	2,297	2,403	12,019	83,564	4,416	16,44	73,13	4,42	74	1076,20	0,95	1021,52	2,62	389,89
								2,287					**16,81**	**71,21**	**4,84**				**956,24**	**2,83**	**361,23**
100A	65,43	5,82	5,5	1175,53	1184,2	668,41	515,79	2,279	2,396	11,927	83,194	4,879	16,81	70,97	4,88	65	945,31	0,93	874,96	2,53	345,84
100B	64,84	5,82	5,5	1172,77	1183,44	666,8	516,64	2,270	2,396	11,879	82,863	5,258	17,14	69,32	5,26	67	974,40	0,93	904,81	2,90	312,00
100C	65,63	5,82	5,5	1170,64	1178,47	665,16	513,31	2,281	2,396	11,934	83,249	4,817	16,75	71,24	4,82	67	974,40	0,96	934,33	3,28	284,86
								2,277					**16,90**	**70,51**	**4,98**				**904,70**	**2,90**	**314,23**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Kusdiari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 6%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM VARIASI SUBTITUSI PASIR PANTAI MARINSOW DENGAN KADAR ASPAL 6%

Tanggal Pengujian : 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiksa Oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	63,37	6,38	6	1176,18	1180,8	679,58	501,21	2,347	2,407	13,397	84,094	2,509	15,91	84,23	2,51	85	1236,18	1,00	1236,18	3,18	388,73
0B	63,49	6,38	6	1172,53	1181,9	674,55	507,32	2,311	2,407	13,194	82,824	3,982	17,18	76,82	3,98	80	1163,46	1,00	1163,46	2,14	543,67
0C	64,24	6,38	6	1169,74	1183,2	665,45	517,71	2,259	2,407	12,899	80,968	6,133	19,03	67,78	6,13	80	1163,46	0,98	1140,19	2,32	491,46
								2,306					**17,37**	**76,27**	**4,21**				**1179,94**	**2,55**	**474,62**
25A	65,47	6,38	6	1170,35	1177,63	666,24	511,39	2,289	2,400	13,065	82,281	4,654	17,72	73,73	4,65	83	1207,09	0,95	1150,36	3,54	324,96
25B	64,25	6,38	6	1176,63	1180,52	672,98	507,54	2,318	2,400	13,235	83,35	3,415	16,65	79,49	3,42	81	1178,00	0,99	1167,60	2,19	533,15
25C	64,70	6,38	6	1171,48	1181,15	667,37	513,78	2,280	2,400	13,017	81,977	5,006	18,02	72,22	5,01	80	1163,46	0,98	1140,09	2,43	469,17
								2,296					**17,46**	**75,15**	**4,36**				**1152,68**	**2,72**	**442,43**
50A	65,19	6,38	6	1175,81	1182,63	670,38	512,25	2,295	2,393	13,104	82,797	4,099	17,20	76,17	4,10	77	1119,83	0,97	1083,62	2,86	378,89
50B	63,92	6,38	6	1170,27	1181,23	668,47	512,76	2,282	2,393	13,029	82,325	4,645	17,67	73,72	4,65	80	1163,46	1,00	1162,78	2,40	484,49
50C	63,66	6,38	6	1171,18	1179,97	666,18	513,79	2,279	2,393	13,013	82,224	4,763	17,78	73,21	4,76	89	1294,35	0,99	1277,60	3,30	387,15
								2,286					**17,55**	**74,37**	**4,50**				**1174,67**	**2,85**	**416,84**
75A	65,47	6,38	6	1170,78	1179,92	663,71	516,21	2,268	2,387	12,948	82,081	4,971	17,92	72,26	4,97	81	1178,00	0,96	1131,67	2,94	384,92
75B	65,15	6,38	6	1174,12	1183,16	669,22	513,94	2,285	2,387	13,042	82,679	4,279	17,32	75,30	4,28	79	1148,92	0,95	1090,32	2,42	450,55
75C	68,51	6,38	6	1171,06	1180,3	666,76	513,54	2,280	2,387	13,018	82,527	4,454	17,47	74,51	4,45	82	1192,55	0,88	1055,21	3,50	301,49
								2,278					**17,57**	**74,02**	**4,57**				**1092,40**	**2,95**	**378,98**
100A	64,18	6,38	6	1169,25	1188,56	663,51	525,05	2,227	2,380	12,713	80,86	6,426	19,14	66,42	6,43	80	1163,46	0,97	1133,60	2,83	400,56
100B	64,23	6,38	6	1171,49	1190,25	677,53	512,72	2,285	2,380	13,044	82,964	3,993	17,04	76,56	3,99	75	1090,74	0,97	1061,66	2,70	393,21
100C	65,17	6,38	6	1168	1176,44	667,38	509,06	2,294	2,380	13,099	83,311	3,590	16,69	78,49	3,59	73	1061,66	0,95	1007,25	3,45	291,96
								2,269					**17,62**	**73,83**	**4,67**				**1067,50**	**2,99**	**361,91**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 18 Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 6,5%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM VARIASI SUBTITUSI PASIR PANTAI MARINSOW DENGAN KADAR ASPAL 6,5%

Tanggal Pengujian : 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiksa Oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	63,55	6,95	6,5	1174,88	1182,7	669,3	513,41	2,288	2,391	14,153	81,569	4,278	18,43	76,79	4,28	80	1163,46	1,00	1162,10	3,05	381,02
0B	64,02	6,95	6,5	1177,08	1182,4	673,96	508,45	2,315	2,391	14,318	82,519	3,163	17,48	81,90	3,16	82	1192,55	0,99	1176,94	2,84	414,42
0C	64,99	6,95	6,5	1171,3	1182,9	669,01	513,85	2,279	2,391	14,098	81,251	4,652	18,75	75,19	4,65	80	1163,46	0,96	1120,12	2,15	520,99
								2,294					**18,22**	**77,96**	**4,03**				**1153,06**	**2,68**	**438,81**
25A	63,88	6,95	6,5	1175,69	1184,99	673,36	511,63	2,298	2,384	14,212	82,178	3,610	17,82	79,74	3,61	79	1148,92	0,99	1138,00	2,45	464,49
25B	64,52	6,95	6,5	1171,52	1181,38	665,17	516,21	2,269	2,384	14,036	81,16	4,804	18,84	74,50	4,80	79	1148,92	0,97	1119,62	2,78	402,74
25C	65,32	6,95	6,5	1170,02	1179,55	668,58	510,97	2,290	2,384	14,161	81,887	3,951	18,11	78,19	3,95	80	1163,46	0,96	1112,20	2,97	374,48
								2,286					**18,26**	**77,48**	**4,12**				**1123,27**	**2,73**	**413,90**
50A	64,14	6,95	6,5	1169,75	1178,46	668,25	510,21	2,293	2,377	14,179	82,26	3,561	17,74	79,93	3,56	83	1207,09	0,98	1187,78	3,15	377,07
50B	64,96	6,95	6,5	1164,81	1180,88	663,03	517,85	2,249	2,377	13,911	80,704	5,385	19,30	72,09	5,38	70	1018,03	0,96	980,87	2,45	400,36
50C	64,92	6,95	6,5	1200,82	1205,16	679,55	525,61	2,285	2,377	14,129	81,971	3,900	18,03	78,37	3,90	78	1134,37	0,96	1094,10	3,16	346,24
								2,276					**18,35**	**76,80**	**4,28**				**1087,58**	**2,92**	**374,55**
75A	64,19	6,95	6,5	1177,65	1183,9	670,65	513,25	2,294	2,371	14,191	82,597	3,213	17,40	81,54	3,21	75	1090,74	0,98	1071,84	2,87	373,46
75B	65,35	6,95	6,5	1174,46	1180,93	660,77	520,16	2,258	2,371	13,964	81,279	4,757	18,72	74,59	4,76	76	1105,29	0,96	1055,89	2,95	357,93
75C	65,04	6,95	6,5	1170,64	1179,92	660,25	519,67	2,253	2,371	13,932	81,091	4,977	18,91	73,68	4,98	70	1018,03	0,96	978,92	3,18	307,84
								2,268					**18,34**	**76,60**	**4,32**				**1035,55**	**3,00**	**346,41**
100A	64,35	6,95	6,5	1177,77	1185,92	670,05	515,87	2,283	2,364	14,120	82,458	3,422	17,54	80,49	3,42	77	1119,83	0,98	1096,13	3,42	320,51
100B	63,93	6,95	6,5	1169,42	1179,3	659,04	520,26	2,248	2,364	13,901	81,183	4,916	18,82	73,88	4,92	71	1032,57	0,99	1021,47	2,83	360,94
100C	65,06	6,95	6,5	1171,62	1182,8	660,83	521,97	2,245	2,364	13,882	81,069	5,049	18,93	73,33	5,05	65	945,31	0,96	908,52	2,90	313,28
								2,258					**18,43**	**75,90**	**4,46**				**1008,71**	**3,05**	**331,58**

Diajukan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernas Kusuma, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK. 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 19 Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Marinsow dengan Kadar Aspal 7%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM VARIASI SUBTITUSI PASIR PANTAI MARINSOW DENGAN KADAR ASPAL 7%

Tanggal Pengujian : 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : *Andromeda Indah Gladea Laudy*
Diperiksa Oleh : *Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.*

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	64,41	7,53	7	1173,74	1180,9	665,98	514,9	2,280	2,374	15,183	80,82	3,998	19,18	79,16	4,00	80	1163,46	0,98	1136,89	2,91	390,69
0B	64,05	7,53	7	1175,5	1181,5	665,16	516,31	2,277	2,374	15,164	80,72	4,116	19,28	78,65	4,12	73	1061,66	0,99	1047,06	2,78	376,64
0C	64,02	7,53	7	1177,49	1185,6	672,02	513,62	2,293	2,374	15,269	81,28	3,451	18,72	81,56	3,45	77	1119,83	0,99	1105,27	3,17	348,67
								2,283					**19,06**	**79,79**	**3,86**				**1096,41**	**2,95**	**372,00**
25A	65,37	7,53	7	1175,46	1185,33	668,05	517,28	2,272	2,368	15,135	80,83	4,035	19,17	78,95	4,04	75	1090,74	0,95	1041,59	2,94	354,28
25B	64,82	7,53	7	1170,98	1180,48	662,85	517,63	2,262	2,368	15,067	80,467	4,466	19,53	77,14	4,47	71	1032,57	0,97	998,50	3,21	311,06
25C	63,90	7,53	7	1176,91	1187,08	672,98	514,1	2,289	2,368	15,247	81,43	3,323	18,57	82,11	3,32	76	1105,29	0,99	1094,14	2,76	396,43
								2,275					**19,09**	**79,40**	**3,94**				**1044,74**	**2,97**	**353,92**
50A	64,81	7,53	7	1173,02	1179,57	660,44	519,13	2,260	2,361	15,050	80,639	4,311	19,36	77,73	4,31	78	1134,37	0,97	1097,32	2,82	389,12
50B	64,92	7,53	7	1177,45	1185,69	667,58	518,11	2,273	2,361	15,136	81,103	3,761	18,90	80,10	3,76	70	1018,03	0,96	981,89	3,31	296,64
50C	65,37	7,53	7	1174,57	1184,98	665,97	519,01	2,263	2,361	15,073	80,764	4,163	19,24	78,36	4,16	68	988,94	0,95	944,38	2,85	331,36
								2,265					**19,16**	**78,73**	**4,08**				**1007,86**	**2,99**	**339,04**
75A	64,53	7,53	7	1170,16	1175,94	663,42	512,52	2,283	2,355	15,207	81,749	3,044	18,25	83,32	3,04	70	1018,03	0,97	991,90	2,76	359,38
75B	64,92	7,53	7	1165,89	1172,82	659,23	513,59	2,270	2,355	15,119	81,281	3,599	18,72	80,77	3,60	69	1003,48	0,96	967,78	2,90	333,72
75C	65,99	7,53	7	1167,52	1175,57	648,2	527,37	2,214	2,355	14,745	79,268	5,987	20,73	71,12	5,99	70	1018,03	0,94	960,32	3,48	275,95
								2,256					**19,23**	**78,40**	**4,21**				**973,33**	**3,05**	**323,02**
100A	65,81	7,53	7	1175,39	1185,06	660,96	524,1	2,243	2,348	14,937	80,566	4,497	19,43	76,86	4,50	68	988,94	0,95	936,28	3,05	306,98
100B	64,82	7,53	7	1169,43	1177,83	657,21	520,62	2,246	2,348	14,961	80,693	4,346	19,31	77,49	4,35	64	930,77	0,97	900,05	2,94	306,14
100C	65,51	7,53	7	1172,8	1182,43	660,39	522,04	2,247	2,348	14,963	80,706	4,331	19,29	77,55	4,33	65	945,31	0,99	935,70	3,34	280,15
								2,245					**19,34**	**77,30**	**4,39**				**924,01**	**3,11**	**297,76**

Diperiksa Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

mpiran 20 Rekap Pengujian *Marshall*

HASIL REKAP PENGUJIAN *MARSHALL*

Kadar Aspal (%)	Variasi	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/cc)
5	0	989,62	2,45	417,03	5,04	69,08	16,06	2,318
5,5	0	1078,32	2,51	449,66	4,43	73,46	16,55	2,316
6	0	1179,93	2,55	474,47	4,21	76,27	17,37	2,306
6,5	0	1153,06	2,68	438,81	4,03	77,96	18,22	2,294
7	0	1096,41	2,95	372,00	3,86	79,79	19,06	2,283
BINA MARGA 2018		800	2-4		>3,0-5,0	>65	>14	>2
5	25	974,64	2,56	386,48	5,18	67,94	16,16	2,31
5,5	25	1048,09	2,64	403,01	4,52	72,86	16,60	2,308
6	25	1152,68	2,72	442,43	4,36	75,15	17,46	2,296
6,5	25	1123,27	2,73	413,90	4,12	77,48	18,26	2,286
7	25	1044,74	2,97	352,65	3,94	79,40	19,09	2,275
BINA MARGA 2018		800	2-4		>3,0-5,0	>65	>14	>2
5	50	946,27	2,58	372,78	5,46	66,66	16,38	2,294
5,5	50	1009,30	2,74	380,34	4,68	72,11	16,70	2,297
6	50	1126,82	2,85	402,34	4,50	74,37	17,55	2,286
6,5	50	1087,58	2,92	374,55	4,28	76,80	18,35	2,276
7	50	1007,86	3,05	334,48	4,08	78,73	19,16	2,265
BINA MARGA 2018		800	2-4		>3,0-5,0	>65	>14	>2
5	75	893,72	2,60	344,65	5,64	66,30	16,50	2,283
5,5	75	956,24	2,83	361,23	4,84	71,21	16,81	2,287
6	75	1092,40	2,95	378,98	4,57	74,02	17,57	2,278
6,5	75	1035,55	3,00	346,41	4,32	76,60	18,34	2,268
7	75	973,33	3,11	318,26	4,21	78,40	19,23	2,256
BINA MARGA 2018		800	2-4		>3,0-5,0	>65	>14	>2
5	100	867,63	2,82	309,17	5,79	65,13	16,60	2,273
5,5	100	904,70	2,90	314,23	4,98	70,51	16,90	2,277
6	100	1067,50	2,99	361,91	4,67	73,83	17,62	2,269
6,5	100	1008,71	3,05	331,58	4,46	75,90	18,43	2,258
7	100	924,01	3,15	293,40	4,39	77,30	19,34	2,245
BINA MARGA 2018		800	2-4		>3,0-5,0	>65	>14	>2

Disahkan Oleh
Ka. Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachtiar Krisnanto, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

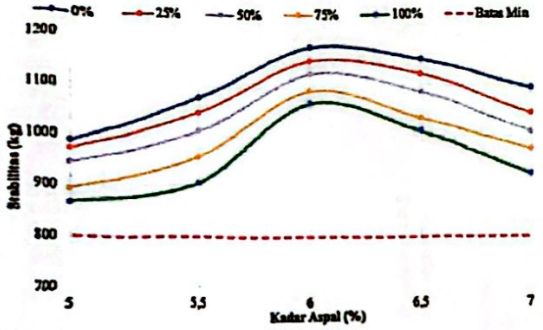
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

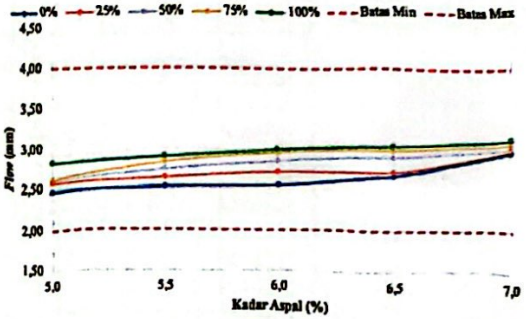
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

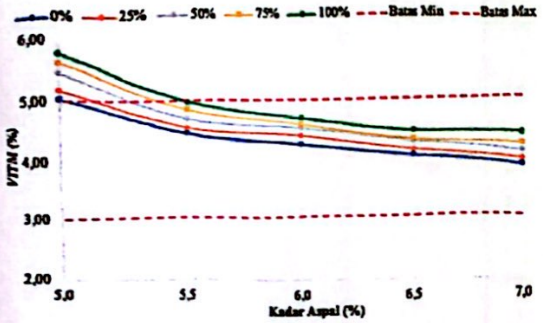
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

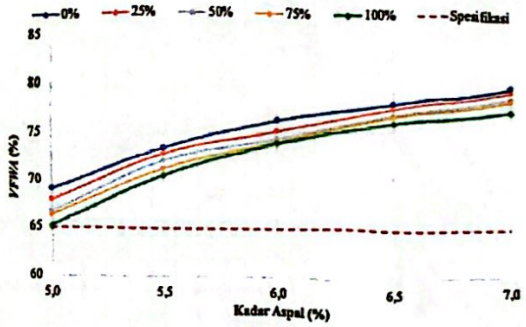
Lampiran 21 Grafik Rekap Pengujian *Marshall*

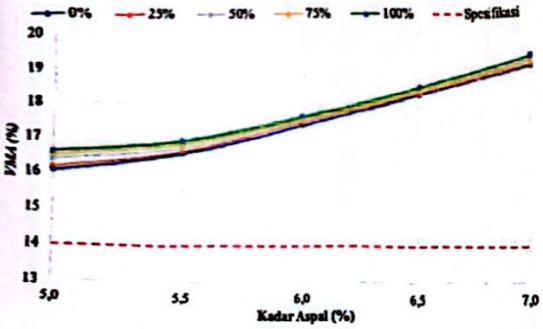
HASIL REKAP GRAFIK PENGUJIAN MARSHALL

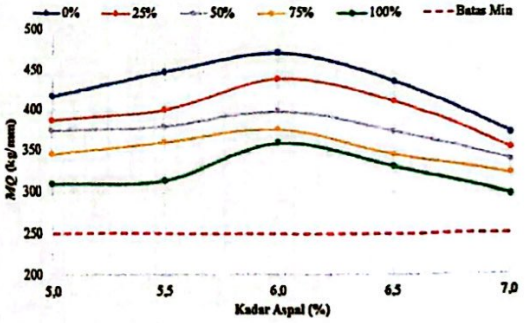


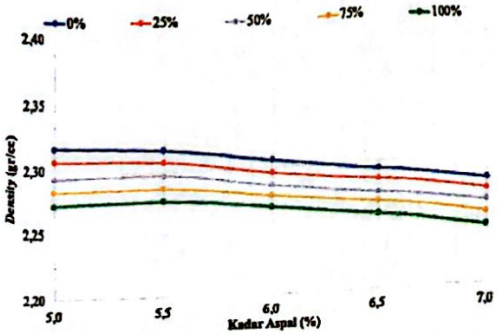












Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Beny Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 22 Hasil Pengujian *Marshall* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *MARSHALL* DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiksa Oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	66,33	6,40	6,015	1174,52	1180,5	678,62	501,84	2,340	2,407	13,395	83,857	2,749	16,14	82,97	2,75	65	1385,46	0,94	1298,09	3,05	425,60
0B	65,55	6,40	6,015	1177,09	1185,2	680,41	504,74	2,332	2,407	13,347	83,558	3,096	16,44	81,17	3,10	65	1385,46	0,95	1318,36	2,95	446,90
0C	66,18	6,40	6,015	1177,14	1187,0	680,03	506,98	2,322	2,407	13,288	83,192	3,520	16,81	79,06	3,52	67	1428,09	0,94	1342,05	3,20	419,39
								2,33					**16,46**	**81,07**	**3,12**				**1319,50**	**3,07**	**430,63**
25A	65,37	6,46	6,07	1170,91	1180,79	672,15	508,64	2,302	2,398	13,295	82,704	4,001	17,30	76,87	4,00	62	1321,52	0,95	1261,89	3,12	404,45
25B	65,93	6,46	6,07	1176,22	1182,42	680,83	501,59	2,345	2,398	13,543	84,246	2,210	15,75	85,97	2,21	60	1278,89	0,94	1207,91	3,32	363,83
25C	65,35	6,46	6,07	1174,26	1182,26	675,30	506,96	2,316	2,398	13,378	83,215	3,407	16,78	79,70	3,41	65	1385,46	0,96	1323,55	2,87	461,17
								2,32					**16,61**	**80,85**	**3,21**				**1264,45**	**3,10**	**409,82**
50A	66,80	6,53	6,13	1165,22	1174,88	667,90	506,98	2,298	2,389	13,405	82,79	3,805	17,21	77,89	3,80	57	1214,95	0,93	1126,96	3,28	343,59
50B	65,26	6,53	6,13	1170,33	1180,77	673,13	507,64	2,305	2,389	13,447	83,045	3,509	16,96	79,31	3,51	57	1214,95	0,96	1162,78	3,40	341,99
50C	66,22	6,53	6,13	1177,45	1187,60	680,94	506,66	2,324	2,389	13,555	83,712	2,734	16,29	83,22	2,73	62	1321,52	0,94	1240,91	2,77	447,98
								2,31					**16,82**	**80,14**	**3,35**				**1176,88**	**3,15**	**377,85**
75A	65,20	6,61	6,2	1177,20	1185,78	670,56	515,22	2,285	2,380	13,479	82,514	4,008	17,49	77,08	4,01	55	1172,32	0,96	1123,15	3,52	319,08
75B	65,34	6,61	6,2	1175,01	1183,00	674,56	508,44	2,311	2,380	13,633	83,458	2,909	16,54	82,42	2,91	52	1108,37	0,96	1058,98	3,10	341,61
75C	66,06	6,61	6,2	1171,42	1178,61	667,44	511,17	2,292	2,380	13,519	82,759	3,722	17,24	78,41	3,72	53	1129,69	0,94	1064,17	3,05	348,91
								2,30					**17,09**	**79,30**	**3,55**				**1082,10**	**3,22**	**336,53**
100A	66,46	6,67	6,25	1177,33	1182,89	667,56	515,33	2,285	2,372	13,586	82,734	3,680	17,27	78,69	3,68	54	1151,00	0,93	1075,54	2,94	365,83
100B	65,75	6,67	6,25	1185,67	1191,87	670,11	521,76	2,272	2,372	13,514	82,294	4,193	17,71	76,32	4,19	50	1065,74	0,95	1010,12	3,43	294,50
100C	66,49	6,67	6,25	1175,61	1180,12	663,50	516,62	2,276	2,372	13,532	82,407	4,061	17,59	76,92	4,06	52	1108,37	0,93	1035,22	3,50	295,78
								2,28					**17,52**	**77,31**	**3,98**				**1040,29**	**3,29**	**318,70**

Diketahui Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK.: 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

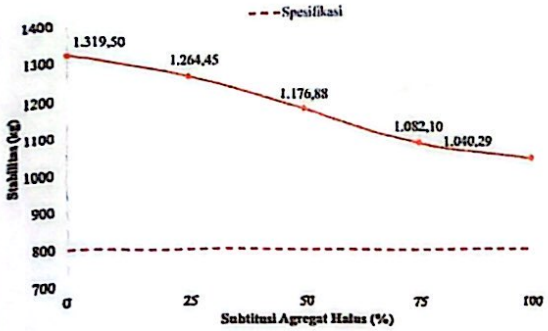
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

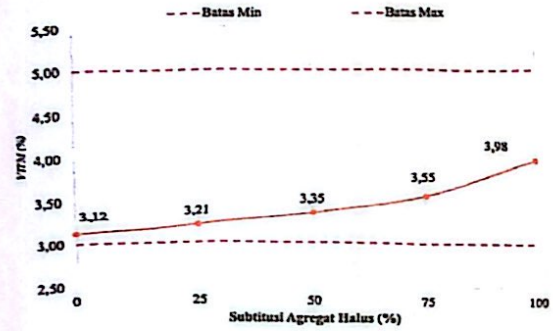
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

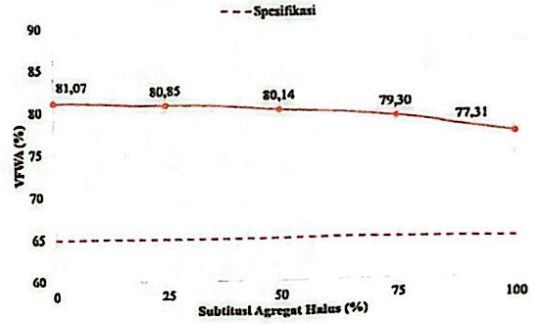
Lampiran 23 Grafik Rekap Pengujian *Marshall*

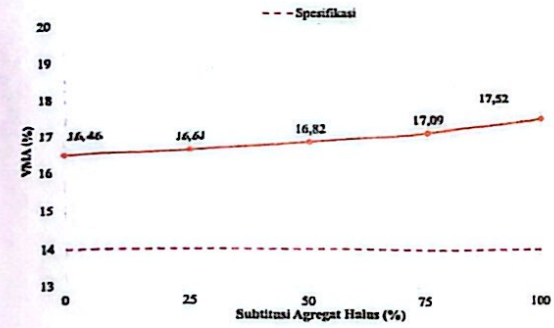
HASIL REKAP GRAFIK PENGUJIAN *MARSHALL*

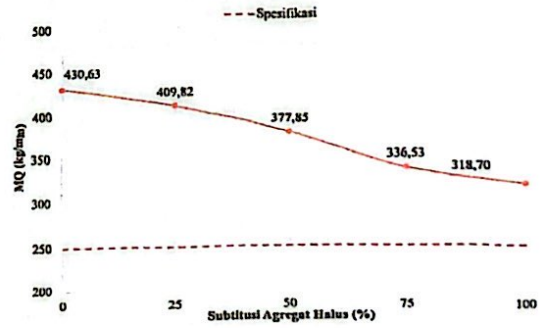


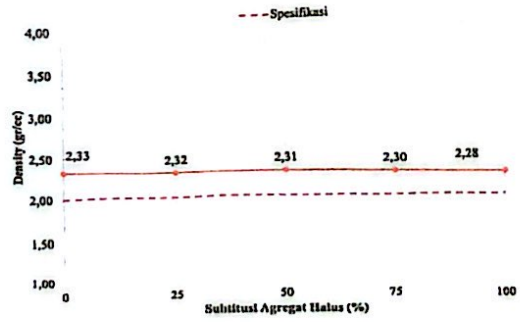












Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Heriansyah, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 24 Hasil Terhadap Pengujian *IRS* 24 Jam dengan KAO

HASIL PENGUJIAN *IRS* 24 JAM DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 24 Oktober 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjakan Oleh : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiksa Oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

KADAR ASPAL			TEBAL SAMPEL (cm)				Angka koreksi	Berat (gr)			Stabilitas			Flow		Stability (kg)	
			1	2	3	rata-rata		kering	air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal (mm)	rata2 (cm)	awal	rata2
ASPAL PEN 60/70	0	1	66	63,86	65,49	65,12	0,96	1180,66	670,10	1185,21	90	32,03	2882,7	295	2,98	1254,88	1225,55
		2	65,83	67,94	67,93	67,23	0,92	1176,58	671,5	1182,33	90	32,03	2882,7	300		1198,63	
		3	65,89	65,63	66,03	65,85	0,95	1180	670,43	1184,17	89	32,03	2850,67	298		1223,16	
	25	1	64,78	65,47	65,46	65,24	0,96	1173,69	665,30	1179,56	87	32,03	2786,61	302	3,13	1210,21	1168,70
		2	67,37	65,35	66,63	66,45	0,93	1179,42	669,88	1182,28	87	32,03	2786,61	327		1181,45	
		3	66,18	66,90	66,15	66,41	0,94	1175,63	667,51	1179,44	82	32,03	2626,46	310		1114,44	
	50	1	67,42	66,15	66,86	66,81	0,93	1177,57	666,21	1180,89	78	32,03	2498,34	325	3,26	1050,80	1085,09
		2	66,96	65,14	65,90	66,00	0,94	1180,07	668,32	1181,14	79	32,03	2530,37	313		1082,50	
		3	66,30	65,90	66,02	66,07	0,94	1175,85	668,95	1178,82	82	32,03	2626,46	340		1121,97	
	75	1	65,47	66,73	67,71	66,64	0,93	1175,17	667,73	1179,97	70	32,03	2242,1	350	3,32	947,03	991,55
		2	65,26	64,70	66,19	65,38	0,95	1174,41	667,18	1178,71	73	32,03	2338,19	312		1012,54	
		3	66,02	67,13	66,7	66,62	0,93	1170,38	665,07	1178,34	75	32,03	2402,25	333		1015,09	
	100	1	65	65,49	65,58	65,36	0,96	1174,29	665,69	1180,59	70	32,03	2242,1	360	3,46	971,44	948,47
		2	67,81	66,09	65,88	66,59	0,93	1174,91	664,47	1179,03	68	32,03	2178,04	352		920,78	
		3	66,78	66,00	66,16	66,31	0,94	1173,67	665,98	1176,37	70	32,03	2242,1	326		953,20	

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN YOGYAKARTA

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachnas Kusbari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

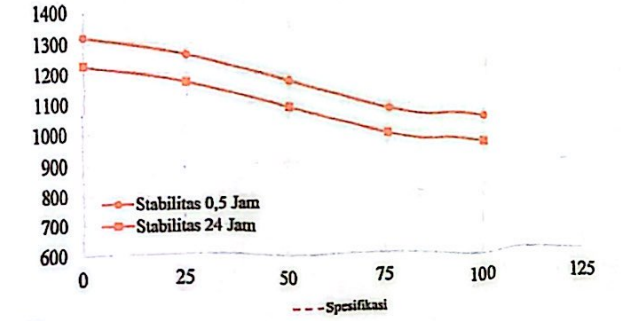
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

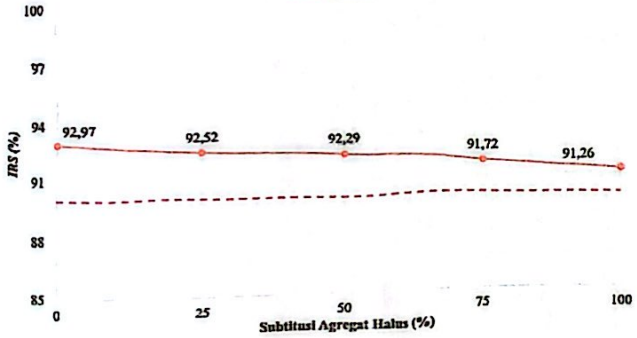
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 25 Rekap Pengujian *IRS*

HASIL REKAP PENGUJIAN *IRS*

Variasi Subtitusi (%)	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	IRS (%)
0	1319,50	1225,55	92,97
25	1264,45	1168,70	92,52
50	1176,88	1085,09	92,29
75	1082,10	991,55	91,72
100	1040,29	948,47	91,26





Disahkan Oleh
Manaber Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernah Kusbary, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 26 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *ITS* DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 25 Oktober 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjak : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperiks : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Kadar Aspal (%)	Substitusi (%)		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM Kpa	
																		Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi			
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2
6,015	0	1	68,16	68,87	69,95	68,99	0,89	3,88	3,96	3,97	3,94	0,16	82	14,54	1192,55	481,44	505,68	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	1084,86	1164,12
		2	66,37	65,15	66,11	65,88	0,95	3,99	3,99	4,00	3,99	0,16	84	14,54	1221,63	523,90		65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1218,72	
		3	65,89	66,63	65,03	65,85	0,95	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	82	14,54	1192,55	511,69		65,1	66,7	0,96	0,93	4,0	4,1	0,156	0,152	1188,78	
6,07	25	1	65,23	65,69	66,40	65,77	0,95	4,00	3,97	4,00	3,99	0,16	75	14,54	1090,74	468,72	459,90	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1093,01	1059,02
		2	68,00	67,40	66,16	67,19	0,92	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	73	14,54	1061,66	442,00		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1006,43	
		3	66,18	66,90	66,15	66,41	0,94	4,04	4,00	3,99	4,01	0,16	76	14,54	1105,29	468,99		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1077,61	
6,13	50	1	66,11	66,99	67,87	66,99	1,01	3,99	3,98	3,99	3,99	0,16	73	14,54	1061,66	484,65	452,89	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	1110,57	1038,33
		2	66,97	67,75	68,12	67,61	0,91	3,99	3,98	3,98	3,98	0,16	73	14,54	1061,66	439,62		65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	998,97	
		3	66,30	65,90	66,19	66,13	0,94	3,99	4,00	4,00	4,00	0,16	70	14,54	1018,03	434,39		65,1	66,7	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1005,45	
6,2	75	1	65,84	65,56	66,42	65,94	0,94	4,00	3,97	4,00	3,99	0,16	69	14,54	1003,48	429,80	433,36	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	999,72	1012,47
		2	65,45	64,86	63,81	64,71	0,97	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	70	14,54	1018,03	447,85		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1058,83	
		3	66,02	66,48	65,73	66,08	0,94	4,00	4,00	3,99	4,00	0,16	68	14,54	988,94	422,43		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	978,86	
6,25	100	1	67,70	65,43	66,17	66,43	0,94	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	70	14,54	1018,03	431,76	420,72	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	994,20	976,44
		2	64,47	65,53	64,42	64,81	0,89	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	68	14,54	988,94	399,24		68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	942,45	
		3	66,78	66,05	66,68	66,50	0,93	4,00	4,00	3,99	4,00	0,16	70	14,54	1018,03	431,16		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	992,68	

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Disiapkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : *20 511 405*

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.3200,3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 27 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *TSR* DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 25 Oktober 2024
Tipe Campuran : *AC-BC*

Dikerjal : Andromeda Indah Gladea Laudy
Diperik : Muhammad Abdul Hadi, S.T.,M.T.

Kadar Aspal (%	Substitusi (%)		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 24 JAM	
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	Kpa awal	Kpa rata2
6,015	0	1	68,16	69,36	68,05	68,52	0,89	3,97	3,98	3,97	3,97	0,16	80	14,54	1163,46	469,69	495,91	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	1055,80	1129,87
		2	67,42	66,84	66,66	66,97	0,92	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	80	14,54	1163,46	487,20		66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	1112,88	
		3	66,89	66,63	66,03	66,52	0,95	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	85	14,54	1236,18	530,85		65,1	68,3	0,96	0,93	4,0	4,1	0,156	0,152	1220,93	
6,07	0,25	1	64,76	66,03	64,93	65,24	0,93	4,00	3,98	4,00	3,99	0,16	83	14,54	1207,09	507,29	440,35	65,1	66,7	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	1191,60	1015,16
		2	69,71	70,00	68,15	69,29	0,89	3,97	4,00	3,97	3,98	0,16	69	14,54	1003,48	405,11		68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	899,06	
		3	66,18	64,48	65,76	65,47	0,95	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	65	14,54	945,31	408,64		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	954,82	
6,13	0,5	1	66,73	68,37	67,86	67,65	0,91	3,98	3,98	4,00	3,99	0,16	70	14,54	1018,03	418,45	428,99	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	949,47	979,39
		2	66,66	67,38	66,45	66,83	0,93	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	69	14,54	1003,48	421,84		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	965,65	
		3	66,30	66,90	67,19	66,80	0,93	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	73	14,54	1061,66	446,69		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1023,06	
6,195	0,75	1	66,22	67,38	67,85	67,15	0,92	3,98	3,97	4,00	3,98	0,16	70	14,54	1018,03	424,26	413,55	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	970,69	947,03
		2	68,12	67,17	67,10	67,46	0,91	3,97	3,98	4,00	3,98	0,16	65	14,54	945,31	390,59		66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	889,52	
		3	66,02	66,48	66,73	66,41	0,94	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	69	14,54	1003,48	425,79		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	980,87	
6,25	1	1	65,04	64,94	64,91	64,96	0,96	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	65	14,54	945,31	413,11	389,19	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	972,83	908,71
		2	65,56	65,81	66,03	65,80	0,95	4,00	3,99	3,99	3,99	0,16	61	14,54	887,14	381,03		65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	887,40	
		3	66,78	65,00	66,16	65,98	0,94	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	60	14,54	872,60	373,45		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	865,89	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

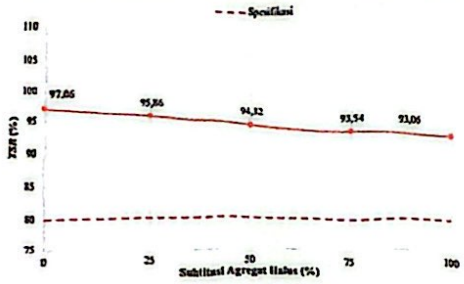
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

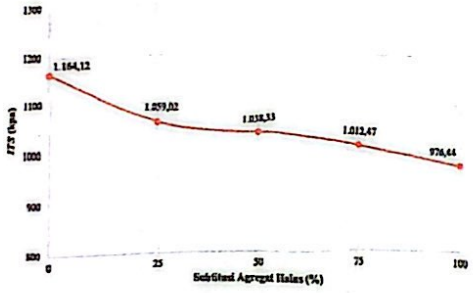
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 28 Rekap Pengujian *ITS* dan *TSR*

HASIL REKAP PENGUJIAN *ITS* DAN *TSR*

Variasi Substitusi (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	1164,12	1129,87	97,06
25	1059,02	1015,16	95,86
50	1038,33	979,39	94,32
75	1012,47	947,03	93,54
100	976,44	908,71	93,06





Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sarino Kusliansyah M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladen Laudy
NIM : 20 511 405

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 29 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *CL* DARI HASIL KAO

Variasi Subtitusi	Sampel	Berat Benda Uji (gram)		Berat Sebelum	Kehilangan	Rata-rata
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	1	1185,12	1158,36	26,76	2,2580	2,6331
	2	1170	1140,31	29,69	2,5376	
	3	1177,28	1140,74	36,54	3,1038	
25	1	1188,3	1152,83	35,47	2,9849	2,8894
	2	1174,8	1147,75	27,05	2,3025	
	3	1172,51	1132,87	39,64	3,3808	
50	1	1180,41	1151,98	28,43	2,4085	3,2710
	2	1209,24	1175,59	33,65	2,7827	
	3	1177,02	1122,62	54,4	4,6218	
75	1	1149,72	1120,77	28,95	2,5180	3,7438
	2	1190,59	1159,53	31,06	2,6088	
	3	1177,78	1105,88	71,9	6,1047	
100	1	1176,16	1132,42	43,74	3,7189	3,9381
	2	1178	1135,07	42,93	3,6443	
	3	1175,63	1123,3	52,33	4,4512	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405

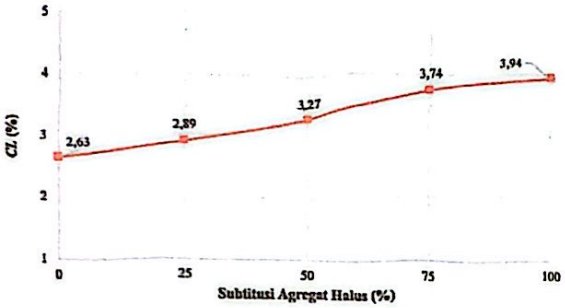
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 30 Rekap Pengujian *Cantabro Loss*

HASIL REKAP PENGUJIAN *CL*

Subtituai Pasir Pantai (%)	Kehilangan Berat (%)
0	2,63
25	2,89
50	3,27
75	3,74
100	3,94



Diketahui Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Andromeda Indah Gladea Laudy
NIM : 20 511 405