TUGAS AKHIR

KINERJA PENGGUNAAN CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)* DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI PASIR PANTAI PANDANSIMO SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS

(*PERFORMANCE OF THE STONE MATRIX ASPHALT (SMA) USING VARIATION* PANDANSIMO *BEACH SANDS AS A REPLACEMENT FOR FINE AGGREGATE)*

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

NABILA SALMA AULYA TRIYONO

20511256

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

2024

TUGAS AKHIR

KINERJA PENGGUNAAN CAMPURAN STONE MATRIX ASPHALT (SMA) DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI PASIR PANTAI PANDANSIMO SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS

(PERFORMANCE OF THE STONE MATRIX ASPHALT (SMA) USING VARIATION PANDANSIMO BEACH SANDS AS A REPLACEMENT FOR FINE AGGREGATE)

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

NABILA SALMA AULYA TRIYONO

20511256

Disetujui:

Pembimbing

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.

Tanggal: 19/12 - 2024

TUGAS AKHIR

KINERJA PENGGUNAAN CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)* DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI PASIR PANTAI PANDANSIMO SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS

(*PERFORMANCE OF THE STONE MATRIX ASPHALT (SMA) USING VARIATION* PANDANSIMO *BEACH SANDS AS A REPLACEMENT FOR FINE AGGREGATE)*

Disusun Oleh :

NABILA SALMA AULYA TRIYONO

20511256

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 17 Desember 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc.	Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK: 215111307	NIK: 205111303	NIK: 145110101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian 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, 17 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,

Nabila Salma Aulya Triyono

(20 511 256)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Kinerja Penggunaan Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan Menggunakan Variasi Pasir Pantai Pandansimo Sebagai Pengganti Agregat Halus. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat doa , dukungan, saran, masukan serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji I dalam Sidang Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak masukan, saran kepada penulis
3. Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak masukan, saran kepada penulis
4. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM 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, Universitas Islam Indonesia
6. Bapak Sri Triyono, S.H., M.H. dan Ibu Sri Yanti, S.H. selaku orang tua penulis dan kakak yang selalu memberikan support, doa dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini

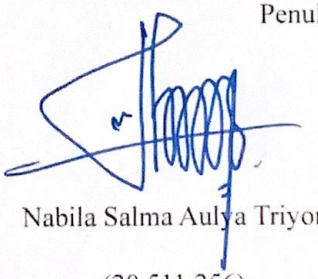
7. Daffa Reyhan Muhammad selaku partner kuliah saya selama 4 tahun yang telah memberikan semangat dan banyak membantu penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.
8. Teman teman satu penelitian Daffa, Yoki dan Indah selaku partner penelitian penulis yang telah banyak membantu serta memberikan semangat kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.
9. Teman-teman satu penelitian dalam Laboratorium Jalan Raya dalam menyelesaikan Tugas Akhir, dan
10. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 17 Desember 2024

Penulis



Nabila Salma Aulya Triyono

(20 511 256)

MOTTO

Orang tua menunggu kepulanganmu dengan penuh harapan, jangan kecewakan mereka. Simpan keluh dan sakitmu, sebab hal itu tak sebanding dengan perjuangan mereka menghidupimu.

"Allah tidak akan membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(Q.S. Al- Baqarah:286)

It will pass, everything you've gone through it will pass

-Rachel Vennya

DAFTAR ISI

Halaman Sampul i
Halaman Judul ii
LEMBAR PENGESAN iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iiiv
KATA PENGANTAR v
DEDIKASI vii
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xviiiii
DAFTAR NOTASI xx
DAFTAR SINGKATAN xxii
ABSTRAK xxiiii
ABSTRACT xxiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Studi Pustaka 6
2.2 Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* 6
2.3 Karakteristik Campuran dengan Berbagai Agregat Halus Pengganti 7
2.4 Pemakaian Pasir Pantai sebagai Pengganti Agregat Halus 8
2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu 10
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Perkerasan Jalan 13

3.2 *Stone Matrix Asphalt (SMA)* 13
3.3 Material Penyusun Perkerasan Lentur 14
3.3.1 Agregat 15
3.3.2 Bahan Tambah atau Stabilizer 17
3.3.3 Aspal 18
3.4 Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan 19
3.5 Karakteristik Pengujian *Marshall* 19
3.5.1 Stabilitas (*Stability*) 19
3.5.2 Kelelehan (*Flow*) 20
3.5.3 *Voids in Total Mix (VITM)*/ Rongga Udara dalam Campuran 20
3.5.4 *Void in the Mineral Agregat (VMA)*/Rongga di antara Mineral Agregat 20
3.5.5 *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*/Rongga Terisi Aspal 21
3.5.6 *Density* 21
3.5.7 *Marshall Quotient* 22
3.6 *Index of Retained Strength (IRS)* 22
3.7 *Indirect Tensile Strength (ITS)* 23
3.8 *Tensile Strength Ratio (TSR)* 23
3.9 *Cantabro Loss (CL)* 24
3.10 *Draindown* 24
3.11 Analisis Statistik *ANOVA* 25
BAB IV METODE PENELITIAN 28
4.1 Metode Penelitian 28
4.2 Metode Pengambilan Data 28
4.3 Tahapan Penelitian 28
4.4 Langkah Langkah Penelitian 29
4.4.1 Pemeriksaan Material 29
4.4.2 Persiapan Alat 33
4.4.3 Perencanaan Campuran 34
4.4.4 Pembuatan Campuran Benda Uji 38

4.5 Perencanaan Gradasi dengan Variasi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo dengan Pasir Clereng 39
4.6 Pengujian *Marshall* 48
4.7 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* 49
4.8 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* 50
4.9 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* 50
4.10 Pengujian *Cantabro Loss* 51
4.11 Pengujian *Draindown* 51
4.12 Analisis Uji Statistik 50
4.13 Analisis Data 52
4.14 Bagan Alir Penelitian 55
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 58
5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran 58
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 58
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 58
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt* pada Kadar Aspal Optimum 59
5.1.4 Kebutuhan Material Agregat pada Kadar Aspal Optimum 66
5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* pada Kadar Aspal Optimum dengan subtitusi Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Agregat Halus 69
5.2 Pembahasan 74
5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar 74
5.2.2 Karakteristik Agregat Halus 75
5.2.3 Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*) 76
5.2.4 Karakteristik Aspal 76
5.2.5 Karakteristik *Marshall* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum 77
5.2.6 Karakteristik Pengujian *Marshall* pada KAO Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo Sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus 87

5.2.7 Karakteristik Pengujian *IRS* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus 99
5.2.8 Karakteristik Pengujian *ITS* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus 100
5.2.9 Karakteristik Pengujian *TSR* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus 102
5.2.10 Karakteristik Pengujian *CL* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus 104
5.2.11 Karakteristik Pengujian *Draindown* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus 106
5.3 Tinjauan Karakteristik Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti subtitusi Agregat Halus 107
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 112
6.1 Kesimpulan 112
6.2 Saran 113
DAFTAR PUSTAKA 115
LAMPIRAN 115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Agregat Halus Clereng 31
Gambar 4.2 Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 31
Gambar 4.3 Agregat Kasar Clereng 31
Gambar 4.4 Rencana Gradasi Agregat Campuran *SMA* 35
Gambar 4.5 Diagram Alir Penelitian 56
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 0% 64
Gambar 5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 25% 64
Gambar 5.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 50% 65
Gambar 5.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 75% 65
Gambar 5.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 100% 66
Gambar 5.9 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* 78
Gambar 5.10 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* 79
Gambar 5.11 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* 80
Gambar 5.12 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* 82
Gambar 5.13 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas 83
Gambar 5.14 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* 85
Gambar 5.15 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *MQ* 86
Gambar 5.16 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo Terhadap Nilai *VITM* 87
Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *VFWA* 89
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *VMA* 91

Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *Density* 92
Gambar 5.20 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai Stabilitas 94
Gambar 5.21 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *Flow* 96
Gambar 5.22 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *MQ* 97
Gambar 5.23 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *IRS* 99
Gambar 5.24 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *ITS* 101
Gambar 5.25 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *TSR* 103
Gambar 5.26 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *CL* 105
Gambar 5.27 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *Draindown* 106

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Terdahulu 11
Tabel 3.1 Sifat-Sifat Campuran *SMA* 14
Tabel 3.2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal 15
Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar 16
Tabel 3.4 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin untuk Campuran Beraspal 17
Tabel 3.5 Spesifikasi Agregat Halus 17
Tabel 3.6 Spesifikasi Bahan Tambah atau Stabilizer untuk *SMA* 17
Tabel 3.7 Spesifikasi Aspal pada Campuran Panas Aspal Pen 60/70 18
Tabel 4.1 Pengujian untuk Aspal Penetrasi 60/70 32
Tabel 4.2 Spesifikasi Gradasi Agregat SMA 34
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5% 36
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5% 36
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 % 37
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5% 37
Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7% 37
Tabel 4.8 Kebutuhan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO) 38
Tabel 4.9 Jumlah Benda Uji Total Berdasarkan Subtitusi Agregat Halus 38
Tabel 4.10 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 5% 40
Tabel 4.11 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 5% 40
Tabel 4.12 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 5% 41
Tabel 4.13 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 5% 41
Tabel 4.14 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 5% 41

Tabel 4.15 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 5,5% 42
Tabel 4.16 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 5,5% 42
Tabel 4.17 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 5,5% 42
Tabel 4.18 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 5,5% 43
Tabel 4.19 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 5,5% 43
Tabel 4.20 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 6% 43
Tabel 4.21 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 6% 44
Tabel 4.22 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 6 % 44
Tabel 4.23 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 6% 44
Tabel 4.24 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 6% 45
Tabel 4.25 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 6,5% 45
Tabel 4.26 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 6,5% 45
Tabel 4.27 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 6,5% 46
Tabel 4.28 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 6,5% 46
Tabel 4.29 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 6,5% 46

Tabel 4.30 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 7% 47
Tabel 4.31 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 7% 47
Tabel 4.32 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 7% 47
Tabel 4.33 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 7% 48
Tabel 4.34 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 7% 50
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70 58
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar Clereng 59
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng 59
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler* 59
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 59
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 0% 60
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 25% 60
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 50% 60
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 75% 61
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 100% 61
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari Kadar KAO 62
Tabel 5.12 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 0% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,68% 67
Tabel 5.13 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 25% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,54% 67

Tabel 5.14 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 50% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,45% 68
Tabel 5.15 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 75% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,38% 68
Tabel 5.16 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 100% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,30% 68
Tabel 5.17 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 70
Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 70
Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengujian *ITS* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 71
Tabel 5.20 Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 71
Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian *Cantabro* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 72
Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian *Draindown* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 72
Tabel 5.23 Rekapitulasi Data Uji Statistik *ANOVA* Pada Pengujian Marshall 73
Tabel 5.24 Rekapitulasi Data Uji Statistik *ANOVA* Pada Pengujian *ITS, IRS, TSR, Cantabro*, dan *Draindown* 73
Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Subtitusi Agregat Halus Pengganti pada Campuran *SMA* 109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 116

Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 117

Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal Pen 60/70 118

Lampiran 4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 119

Lampiran 5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 120

Lampiran 6. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE 121

Lampiran 7. Pemeriksaan Berat jenis Agregat Kasar 122

Lampiran 8. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 123

Lampiran 9. Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar 124

Lampiran 10. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir Clereng 125

Lampiran 11. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 126

Lampiran 12. Pemeriksaan *Sand Equivalent* Pasir Clereng 127

Lampiran 13. Pemeriksaan *Sand Equivalent* Pasir Pantai Pandansimo 128

Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Debu 129

Lampiran 15. Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo dengan Kadar Aspal 5% 130

Lampiran 16. Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo dengan Kadar Aspal 5,5% 131

Lampiran 17. Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo dengan Kadar Aspal 6% 132

Lampiran 18. Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo dengan Kadar Aspal 6,5% 133

Lampiran 19. Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo dengan Kadar Aspal 7% 134
Lampiran 20. Hasil Rekap Pengujian *Marshall* 135
Lampiran 21. Grafik Rekap Pengujian *Marshall* 136
Lampiran 22. Hasil Pengujian *Marshall* dari Hasil KAO 137
Lampiran 23. Grafik Rekap Pengujian *Marshall* 138
Lampiran 24. Hasil Pengujian *IRS* 24 Jam dengan KAO 139
Lampiran 25. Rekap Pengujian *IRS* 140
Lampiran 26. Hasil Pengujian *ITS* dari Hasil KAO 141
Lampiran 27. Hasil Pengujian *TSR* dari Hasil KAO 142
Lampiran 28. Rekap Pengujian *ITS* dan *TSR* 143
Lampiran 29. Hasil Pengujian *Draindown* dari Hasil KAO 144
Lampiran 30. Hasil Pengujian *Cantabro Loss* dari Hasil KAO 145
Lampiran 31. Rekap Pengujian *Draindown* 146
Lampiran 32. Rekap Pengujian *Cantabro Loss* 147

DAFTAR NOTASI

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = Pembaca arloji stabilitas

q = angka koreksi benda uji

g = berat volume benda uji (gr/cc)

h = berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)

Gsb = berat jenis volume bulk

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Ps = kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

Gsb = berat jenis volume bulk

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

g = Nilai *density* (gr/cc)

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)

S = Nilai stabilitas toleransi (kg)

F = nilai *flow* (mm)

S1 = Stabilitas setelah direndam selama 30 menit

S2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

P runtuh = beban puncak (N)

d = diameter sampel (mm)

h = tinggi sample (mm)

S1 : Rata-rata nilai *ITS* setelah dilakukan rendaman selama 30 menit

S2 : Rata-rata nilai *ITS* setelah dilakukan rendaman selama 24 jam.

L = persentase kehilangan berat (%)

M0 = berat benda uji sebelum di abrasi (gr)

M1 = berat benda uji setelah di abrasi (gr)

A = berat akhir piring penampung (gr)

B = berat awal piring penampung (gr)

C = berat awal jumlah campuran yang diuji (gr)

H_0 = tidak ada perbedaan secara signifikan

H_1 = ada perbedaan secara signifikan

Pb = Kadar Aspal

CA = Persen agregat kasar (tertahan pada saringan No.4)

FA = Persen agregat halus (lolos pada saringan No.4 dan tertahan saringan No.200)

K = Konstanta (1-2)

DAFTAR SINGKATAN

ANOVA = *Analysis of Variance*

AASHTO = *American Association of State Highway and Transportation Officials*

CL = *Cantabro Loss*

SMA = *Stone Matrix Asphalt*

IRS = *Index of Retained Strength*

ITS = *Indirect Tensile Strength*

JMF = *Job Mix Formula*

KAO = Kadar Aspal Optimum

MQ = *Marshall Quotient*

SNI = *Standar Nasional Indonesia*

SSD = *Saturated Surface Dry*

TSR = *Tensile Strength Ratio*

VITM = *Void in Total Mix*

VFWA = *Void Filled With Asphalt*

VMA = *Void in Mineral Agregat*

ABSTRAK

Peningkatan kualitas jalan yang baik dan memadai perlu dilakukan seiring dengan populasi dan volume lalu lintas yang semakin bertambah. Pada umumnya Infrastruktur jalan yang banyak dipakai Indonesia menggunakan *flexible pavement* (perkerasan lentur), dimana *Stone Matrix Asphalt* merupakan salah satu campuran yang digunakan dalam perkerasan tersebut. Namun, seiring bertambahnya kebutuhan material maka dibutuhkan alternatif lain sebagai bahan pengganti agregat halus. Sehingga tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pasir Pantai Pandansimo yang berada di Kota Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai bahan pengganti agregat halus pada campuran *SMA* terhadap karakteristik *Marshall, IRS, ITS, CL, TSR* dan *Draindown.*

Penelitian ini dilakukan melalui empat tahapan, yaitu pengujian fisik material agregat dan aspal, menentukan kadar optimum pada campuran *SMA* dengan variasi subtitusi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, melakukan pengujian karakteristik *Marshall, IRS, ITS, TSR, CL* dan *Draindown*, kemudian yang terakhir melakukan analisis, pembahasan, dan kesimpulan terhadap hasil penelitian.

Hasil menunjukkan pasir Pantai Pandansimo yang digunakan sebagai subtitusi agregat halus pengganti dalam berbagai kadar variasi pada campuran *SMA* memenuhi standar yang telah ditentukan dan layak sebagai pengganti agregat halus Clereng. Hasil uji karakteristik *Marshall* menunjukkan bahwa campuran dapat menahan beban lalu lintas dan memiliki fleksibilitas yang baik. Nilai uji *IRS* menunjukkan bahwa campuran lebih mampu menahan terhadap pengaruh air, suhu dan udara, Nilai uji *ITS* dan *TSR* menunjukkan bahwa campuran mampu menahan gaya tarik tak langsung. Nilai uji *CL* menunjukkan campuran tahan terhadap abrasi atau pelepasan material saat terkena beban mekanis. Kemudian nilai *Draindown* menunjukkan campuran memiliki ikatan antar bitumen dan agregat yang baik.

Kata Kunci: *Stone Matrix Asphalt,* Agregat halus, Pasir Pantai Pandansimo.

ABSTRACT

Improving the quality of roads that are in good condition and adequate is necessary in line with the growing population and increasing traffic volume. In general, road infrastructure commonly used in Indonesia employs flexible pavement, with Stone Matrix Asphalt being one of the mixtures used in this pavement. However, as the demand for materials increases, alternative materials are needed as substitutes for fine aggregates. Therefore, the aim of this study is to examine the effect of Pandansimo Beach Sand, located in Bantul, Special Region of Yogyakarta, as a fine aggregate substitute in SMA mixture on Marshall characteristics, IRS, ITS, CL, TSR, and Draindown.

This research was conducted in four stages: physical testing of aggregate and asphalt materials, determining the optimum content in SMA mixture with substitution variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%, conducting tests on Marshall characteristics, IRS, ITS, TSR, CL, and Draindown, and finally performing analysis, discussion, and conclusions based on the research results.

The results show that Pandansimo Beach Sand, used as a fine aggregate substitute in various substitution ratios in the SMA mixture, meets the established standards and is suitable as a replacement for Clereng fine aggregate. The Marshall characteristic test results indicate that the mixture can withstand traffic loads and has good flexibility. The IRS test results show that the mixture is more resistant to the effects of water, temperature, and air. The ITS and TSR test results show that the mixture can withstand indirect tensile forces. The CL test results show that the mixture is resistant to abrasion or material loss when subjected to mechanical loads. Finally, the Draindown test results indicate that the mixture has a strong bond between bitumen and aggregates.

Keywords: Stone Matrix Asphalt, Fine Aggregate, Pandansimo Beach Sand

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara dengan populasi dan volume lalu lintas yang semakin meningkat, perlu didukung adanya sarana dan prasarana yang memadai. Jalan merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam sarana dan prasarana transportasi darat. Menurut Muhammad dan Kusumaningsih (2023), Jalan merupakan prasarana penting transportasi yang dapat berpengaruh terhadap kemajuan bidang ekonomi, sosial, budaya maupun politik di suatu wilayah. Melihat hal ini diperlukan peningkatan secara kuantitas maupun kualitas jalan guna memenuhi kebutuhan masyarakat, baik untuk kenyamanan dan keamanan bagi pengemudi, maka dari itu jalan harus didukung oleh perkerasan yang baik.

Pada umumnya infrastruktur jalan yang banyak dipakai Indonesia menggunakan *flexible pavement* (perkerasan lentur). Menurut Maharani dan Wasono (2018) perkerasan lentur dalam perkerasan umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan bawah. Perihal upaya kinerja jalan yang baik, diperlukan kualitas bahan yang memenuhi spesifikasi untuk pembuatan campuran beton aspal. Menurut Ardianti, dkk (2018) kualitas aspal dan kesesuaian gradasi agregat yang baik sangat menentukan kualitas konstruksi perkerasan lentur. Kemudian menurut Sari (2020) dalam Triandana, dkk (2022) menyatakan kualitas perkerasan aspal dapat dikarakteristikkan dengan kekakuan, stabilitas, daya tahan, permeabilitas, kemampuan bahan, ketahanan leleh, ketahanan selip dan ketahanan terhadap kerusakan kelembaban.

Sehubungan dengan permasalahan diatas dibutuhkan suatu campuran aspal yang memiliki umur pelayanan yang tinggi dan daya tahan terhadap perubahan seperti deformasi dan keretakan sehingga mampu meningkatkan kekuatan lapis perkerasan jalan. *Stone Matrix Asphalt (SMA)* merupakan salah satu campuran yang

sesuai dengan kriteria tersebut. *SMA* adalah campuran beton aspal panas bergradasi terbuka yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi dan bahan pengikat (Timbonga, dkk 2021). Menurut Rahman dkk (2022) *SMA* merupakan campuran gradasi timpang dengan persentase agregat kasar yang tinggi. Sejalan dengan penelitian Ramadhan dan Fauziah (2020) menyatakan bahwa *SMA* memiliki kadar agregat kasarnya lebih banyak dan mempunyai kecenderungan lebih tahan lama dan dapat lebih tahan terhadap deformasi, mempunyai *skid resistance* tinggi sehingga mampu melayani beban kendaraan berat dengan baik.

Agregat merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam campuran aspal yang digunakan dalam campuran *SMA*. Namun seiring bertambahnya kebutuhan material maka dibutuhkan alternatif lain sebagai bahan pengganti agregat halus. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadhan dan Fauziah (2020) menyatakan bahwa Campuran *Split Mastic Asphalt* yang menggunakan pasir Pantai Indrayanti dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus yang telah sesuai dengan standar yang ditentukan berdasarkan parameter *Marshall, ITS, CL* dan *IRS.* Kemudian beberapa penelitian terdahulu Devi dan Affandy (2021)**,** Melodi dkk (2021), Akbar, dkk (2019), Nadhila dan Subarkah (2018), Bahri (2017), Tajudin dan Suparma (2017) dan Arifiardi dkk (2016) yang menggunakan subtitusi agregat halus pengganti dan mampu meningkatkan karakteristik perkerasan berdasarkan pengujian yang dilakukan.

Sehubungan dengan penjelasan dan permasalahan diatas penulis melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pasir Pantai Pandansimo yang berada di Kota Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta mempunyai material agregat halus dalam jumlah yang besar dan lebih mudah didapatkan secara langsung, namun secara kualitas masih perlu diteliti kembali kekuatan lapis struktur perkerasan jalan khususnya pada campuran beton aspal sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai pengganti agregat halus terhadap campuran *SMA*. Adapun pengujian yang akan dilakukan guna mengetahui memenuhi atau tidaknya adalah pengujian *Marshall, Index of Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Cantabro Loss (CL) dan Tensile Strength Ratio (TSR)* dan *Draindown.*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sifat fisik pasir Pantai Pandansimo sebagai agregat halus pada campuran aspal *Stone Matrix Asphalt (SMA),*
2. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap Campuran *SMA* yang dibandingkan dengan nilai-nilai karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas*, flow, VITM, VFWA, VMA*, dan *Marshall Quotient (MQ)*
3. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat dalam campuran *SMA* terhadap nilai durabilitas dengan uji *Index of Retained Strength (IRS)*
4. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap campuran *SMA* terhadap kuat tarik tak langsung dengan uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*
5. Bagaimana pengaruh penggunaan pasir Pantai Pandansimo terhadap campuran *SMA* terhadap daya tahan tarik dengan uji *Tensile Strength Ratio (TSR)*
6. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap campuran *SMA* terhadap disintegrasi akibat benturan dengan uji *Cantabro Loss (CL)*
7. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat dalam campuran *SMA* dengan uji *Draindown*

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka didapatkan tujuan penelitian yang dapat diuraikan sebagai berikut

1. Mengetahui sifat fisik pasir Pantai Pandansimo sebagai agregat halus pada campuran *SMA*
2. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap campuran *SMA* yang dibandingkan dengan nilai-nilai karakteriatik

Marshall yaitu stabilitas, *flow, VITM, VFWA, VMA, density* dan *Marshall Quotient (MQ)*.

3. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat terhadap nilai durabilitas dengan uji *Index of Retained Strength (IRS)*
4. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap kuat tarik tak langsung dengan uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*
5. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap kuat tarik tak langsung dengan uji *Tensile Strength Ratio (TSR)*
6. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap disintegrasi akibat benturan dengan uji *Cantabro Loss (CL)*
7. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo dengan uji *Draindown.*

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat di bidang konstruksi khususnya di bidang perkerasan lentur jalan raya dengan penggunaan pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat halus terhadap kinerja campuran *SMA*.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan sebagaimana tujuan penelitian, maka adanya batasan Batasan sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
2. Campuran yang digunakan adalah *Stone Mastic Asphalt (SMA)*
3. Serat selulosa yang digunakan adalah pabrikasi CF 51500
4. Penelitian tidak meneliti dan menguji kandungan kimia serat selulosa CF 51500
5. Penelitian mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 dan SNI 8129:2015

6. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70 dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.
7. Agregat kasar yang digunakan didapat dari Clereng, Kulon Progo.
8. Agregat halus yang digunakan didapat dari Clereng, Kulon Progo dan Pantai Pandansimo yang berada di Bantul.
9. Variasi agregat halus yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%,100%
10. Penelitian tidak menguji kandungan unsur kimia yang terkandung dalam pasir Pantai
11. Penelitian ini menggunakan *ANOVA* satu arah

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Pada penelitian ini, studi dibutuhkan sebagai pengerucutan permasalahan mengenai pengaruh penggunaan pasir Pantai Pandansimo pada campuran aspal beton *SMA* sebagai pengganti agregat halus. Studi Pustaka diambil dari penelitian penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan permasalahan atau penelitian ini. Berikut merupakan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

2.2 Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Istilah campuran *SMA* di Amerika dikenal dengan singkatan *Stone Matrix Asphalt*, sedangkan di Eropa adalah *Split Mastic Asphalt*. Jenis campuran *SMA* banyak digunakan karena memiliki ketahanan terhadap deformasi *(rutting)* serta memiliki ketahanan gelincir *(skid resistant)* yang cukup tinggi serta mengeliminasi kebisingan (SNI 8129:2015). *SMA* tersusun dari agregat kasar dengan kadar tinggi ±70%, *Mastic Asphalt* ditambah zat *additive* selulosa. Agregat *SMA* mempunyai gradasi terbuka, sehingga memiliki ketebalan lapisan film aspal yang tinggi, namun akibat penambahan zat *additive* memungkinkan dapat berkurangnya terjadinya *bleeding* (Gasruddin dan Ichwan, 2022).

Menurut Tahir dkk (2018) *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah salah satu jenis aspal beton campuran panas dengan mineral agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal yang membentuk mortar atau spesi dengan aspal sebagai bahan pengikat yang dicampur dalam keadaan panas. Menurut Triandana, dkk (2022) Pada dasarnya campuran *SMA* terdiri dari 3 unsur, dimana agregat sebagai bahan utama, aspal, serta sebagai bahan tambahan. Agregat merupakan material yang memiliki persentase paling besar yang digunakan dalam campuran *SMA*. Menurut Tahir dkk (2018) komposisi *SMA* terdiri dari 70-80% agregat kasar, 80-12% filler, 6-7% pengikat, dan serat 0,3 %. Penggunaan agregat kasar dengan jumlah fraksi yang

tinggi mengakibatkan agregat saling mengunci *(interlocking)* sehingga menghasilkan campuran aspal yang tahan terhadap rutting.

Sedangkan Menurut Rahman, dkk (2022) *SMA* merupakan campuran gradasi timpang dengan persentase agregat kasar yang tinggi. *SMA* mempunyai kekurangan yaitu biaya yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan campuran beraspal konvensional, sekitar 10-20% yang diakibatkan oleh penggunaan kadar aspal yang tinggi namun campuran *SMA* lebih tahan terhadap deformasi, mempunyai *skid resistance* tinggi karena kadar agregat kasarnya lebih banyak dan mempunyai kecenderungan lebih tahan lama, karena kadar aspalnya tinggi sehingga lebih dapat melayani kendaraan berat dengan baik.

2.3 Karakteristik Campuran dengan Berbagai Agregat Halus Pengganti

Agregat halus adalah salah satu bahan campuran yang secara umum memiliki ukuran 0,063 mm – 4,76 mm yang meliputi pasir halus *(Fine Sand)* dan pasir kasar *(Coarse Sand)*. Menurut Nadhila dan Subarkah (2018) agregat halus merupakan salah satu material penting pada lapis aspal Beton (LASTON) yang berfungsi sebagai bahan pengisi rongga kosong pada campuran dan menurut Ruhaidani, dkk (2023) butir butir agregat halus bersifat kekal yang berarti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti hujan dan matahari.

Dalam penelitian Nofrianto dan Astika (2023) mengenai Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran *AC-WC* Berdasarkan Uji *Marshall*, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai Proporsi pasir Silika Optimum dan mengetahui pengaruh pasir Silika sebagai campuran *AC-WC* terhadap nilai struktural dan Analisis *Marshall Properties* pada penelitian ini, nilai kepadatan *(Density)*, kelelehan *(flow), VMA, VFWA* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan berkurangnya komposisi pasir silika di dalam campuran, sedangkan nilai *VIM* dan *MQ* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan berkurangnya komposisi pasir silika di dalam campuran berdasarkan pedoman Bina Marga 2018.

Ramadhan dan Suparma (2018) mengenai Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Pada Laston *AC-WC* Sebagai Pengganti Agregat Halus. Penelitian ini melakukan beberapa pengujian, yaitu uji *Marshall, Immersion,* dan *ITS* untuk mengevaluasi durabilitas campuran beton aspal dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) setelah melalui lima variasi campuran, yaitu V1, V2, V3, V4, dan V5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas *Marshall* mengalami penurunan bertahap setelah perendaman. Pengujian *ITS* menunjukkan penurunan nilai kuat tarik, baik pada kondisi *unconditioned* maupun *conditioned*. Penurunan stabilitas ini terjadi berturut-turut terjadi akibat dari perendaman.

Bato'tanete, dkk (2021) pada penelitian mengenai Karakteristik *Stone Matrix Asphalt* dengan menggunakan batu Sungai Tabu Kabupaten Toraja Utara dimana tujuan ini adalah pemanfaatan batu sungai Tabu sebagai campuran SMA dan didapatkan hasil bahwa pada campuran SMA dengan kadar 6%,6,25%,6,75%, dan 7% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, dimana *Immersion Test* dan *Residural Strength Index* sebesar 7% dan *Durability* sebesar 955%. Komposisi KAO dengan *VIM* terkecil memenuhi Bina Marga 2018, Stabilitas,*VIM,VMA*, *Flow* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 sedangkan pada hasil sisa *Marshall* diperoleh kestabilan campuran dari perbandingan hasil bagi antara *Marshall Immersion Stability* dan Konvensional didapat Stabilitas memenuhi standar.

2.4 Pemakaian Pasir Pantai sebagai Pengganti Agregat Halus

Pemakaian pasir Pantai sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal telah beberapa kali diteliti untuk mengetahui pengaruh penggunaan pasir Pantai sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik aspal, seperti yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya yaitu dalam penelitian Ramadhan dan Fauziah (2020) mengenai Kinerja Campuran *SMA* dengan Menggunakan Pasir Pantai Indrayanti sebagai Pengganti Agregat Halus, tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja campuran *SMA* dengan menggunakan pasir Pantai Indrayanti sebagai Pengganti Agregat Halus dengan bahan ikat pen 60/70 dengan menggunakan pengujian *Marshall Standard*, *IRS, ITS*, *CL.* Analisis pada penelitian ini yaitu *Marshall Properties* pada kinerja *volumetric* dan stabilitas menurun setiap

penambahan kadar subtitusi pasir Pantai Indrayanti namun masih memenuhi spesifikasi *Split Mastic Asp*halt yang ditetapkan Departemen Perkembangan Wilayah (1999), nilai kuat tarik tak langsung pada uji *ITS* dan *IRS* menurun seiring penambahan kadar subtitusi pasir Pantai Indrayanti sedangkan pada uji *CL* mengalami kenaikan.

Hampir sama dengan penelitian Ramadhan dan Fauziah sebelumnya, penelitian ini menggunakan bahan pengganti agregat halus pasir Pantai namun terdapat perbedaan hasil pengujian yang dilakukan. Adapun hasil dari rangkaian pengujian yang dilakukan Shabrina, dkk (2019) mengenai Pemanfaatan pasir Pantai Kemala Sebagai Bahan Tambah Campuran *AC-WC* Terhadap *Marshall Properties* dan Nilai Struktural adalah Analisis *Marshall Properties* penelitian ini, didapatkan nilai stabilitas 0%,10% dan 15% memenuhi spesifikasi sedangkan pada 30% tidak memenuhi spesifikasi, nilai *flow, VMA*, dan nilai *VITM* mengalami penurunan sedangkan nilai *VFWA* mengalami kenaikan.

Metode penggantian campuran agregat halus dan *filler* yang dilakukan Pratama dan Najihan (2020) mengenai Pengaruh Pasir Pantai Terhadap Pengganti Agregat Halus dengan *Filler* Abu Tebu pada Campuran Aspal pada Karakteristik *Marshall*, tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan *filler* abu tebu dengan persentase bahan pengisi abu 0%, 5%,10%, 15% pada campuran *AC-WC* dimana semakin meningkatnya nilai stabilitas mengalami peningkatan sedangkan kelelehan *(flow),* kepadatan *(Density) VIM, VMA, VFA* mengalami penurunan.

Refi (2021) melakukan penelitian mengenai Efek Pemakaian Pasir Laut Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas *(AC-BC)* Dengan Pengujian *Marshall,* tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai struktural dengan parameter *Marshall* yang meliputi nilai *density, VMA, VFWA, VITM, flow*, dan stabilitas. Kemudian membandingkan dengan pasir sungai dengan komposisi yang sama terhadap karakteristik *Marshall* yang dihasilkan. Hasil analisis yang dihasilkan setelah membandingkan nilai karakteristik Marshall antara kedua jenis

agregat tersebut menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

Pratama dkk (2023) pada penelitian mengenai Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Ketapang Sebagai Agregat Halus dengan Penambahan *Filler* Semen Pada Campuran Aspal *AC-WC* terhadap Karakteristik *Marshall*, dimana hasil penelitian ini menunjukan nilai *VFA, VIM, stabilitas* dan *flow* yang memenuhi persyaratan sedangkan nilai *VMA* pada persentase 75% tidak memenuhi persyaratan dan semakin banyak pasir pantai maka *stabilitas* mengalami penurunan.

2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Adapun perbedaan penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Terdahulu

NO	Aspek	Ramadhan dan Fauziah (2020)	Nadhila dan Subarkah (2018)	Shabrina, dkk (2019)	Nofrianto dan Astika (2023)	Bato'tanete, dkk (2020)	Ina Tanaya, dkk (2022)	Penulis (2024)
1	Judul	Kinerja Campuran *SMA* dengan Menggunakan Pasir Pantai Indrayanti Sebagai Pengganti Agregat Halus	Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Pada Perkerasan Lapis Aspal Beton	Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala Sebagai Bahan Tambah Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* Terhadap *Marshall Properties* dan Nilai Struktural	Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* Berdasarkan Uji *Marshall*	*Characteristics of the Stone Matrix Asphalt Coarse using the Tabu River Stone North Toraja Regency*	*Properties of Recycled hot Asphalt mixture added with added With Mastic Asphalt Component*	Kinerja Penggunaan Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan Menggunakan Variasi Pasir Pantai Pandansimo Sebagai Pengganti Agregat Halus.
2	Jenis campuran	*Split Mastic Asphalt (SMA)*	*AC-WC*	*AC-WC*	*AC-WC*	*SMA*	*SMA*	*SMA*
3	Jenis aspal	*Asphalt 60/70 Penetration*	*Asphalt 60/70 Penetration*	*Asphalt 60/70 Penetration*	*Asphalt 60/70 Penetration*	*Asphalt 60/70 Penetration*	*Asphalt 60/70 Penetration*	*Asphalt 60/70 Penetration*
4	Jenis material agregat	Pasir Pantai Indrayanti	Limbah Marmer	Pasir Pantai Kemala	Pasir Silika	Batu Sungai Tabu	Daur Ulang Aspal Panas	Pasir Pantai Pandansimo
5	Pengujian	*Marshall* Standard, *IRS, ITS, Cantabro Loss.*	*Marshall Properties* dan *IRS*	*Marshall Properties*	*Marshall Properties*	*Marshall Properties*	*Marshall Standard, ITS, Cantabro Loss.*	*Marshall, IRS, ITS, TSR, Cantabro Loss, Draindown*

Sumber: Ramadhan dan Fauziah (2020), Nadhila dan Subarkah (2018), Shabrina dkk (2019), Nofrianto dan Astika (2023), Bato'tanete dkk (2020), Thanaya dkk (2022) , Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Terdahulu

NO	Aspek	Ramadhan dan Fauziah (2020)	Nadhila dan Subarkah (2018)	Shabrina dkk (2019)	Nofrianto dan Astika (2023)	Bato'tanete dkk (2020)	Tanaya dkk (2022)	Penulis
6	Hasil	Sifat fisik pasir Pantai Indrayanti memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh bina marga (2010) sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengganti campuran aspal dan Karakteristik *marshall* memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Departemen Perkembangan Wilayah (1999)	Didapatkan hasil nilai karakteristik *Marshall* didapatkan Kadar Aspal Optimum yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sebesar 6,65% dan pengujian IRS memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.	Nilai Karakteristik *Marshall* didapat nilai pasir Pantai optimum sebesar 14% dan karakteristik material pasir Pantai tidak memenuhi persyaratan sebagai bahan jalan yang digunakan pada kecepatan rendah.	Dari hasil nilai Karakteristik *Marshall* dan kadar aspal optimum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan bina marga (2018) dengan kadar aspal optimum sebesar 5,7%.	Didapatkan hasil karakteristik *Marshall* dan Kadar Aspal Optimum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga 2018 dan didapat *Durability* sebesar 955% yang dimana pada Bina Marga 2018 minimal adalah 90%.	Didapatkan bahwa *Marshall* Properties memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dan daur ulang RAP dapat dilakukan dengan 10-20% penambahan abu batu. Campuran ini memenuhi spesifikasi untuk jalan dengan lalu lintas rendah hingga sedang.	Hasil didapatkan bahwa pada pengujian *Marshall Properties* yaitu nilai Stabilitas, *MQ, VFWA*, dan *Density* mengalami kenaikan, sedangkan nilai *Flow, VITM, VMA* mengalami penurunan. Kemudian hasil pengujian *IRS, TSR,* dan *ITS* mengalami kenaikan sedangkan nilai *CL* dan *Draindown* mengalami penurunan. Dari hasil tersebut didapat bahwa pasir Pantai Pandansimo dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus pada campuran *SMA*.

Sumber: Ramadhan dan Fauziah (2020), Nadhila dan Subarkah (2018), Shabrina dkk (2019), Nofrianto dan Astika (2023), Bato'tanete dkk (2020), Thanaya dkk (2022) , Penulis (2024)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan bagian dari konstruksi jalan yang terdiri dari beberapa lapisan atau susunan, terletak pada suatu landasan atau tanah dasar yang diperuntukkan bagi jalur lalu lintas. Fungsi utama dari perkerasan jalan adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah-dasar *(sub-grade)* yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah-dasar. Permukaan pada perkerasan haruslah rata tetapi harus mempunyai kekesatan atau tahan gelincir (*skid resistance)* di permukaan perkerasan. Perkerasan dibuat dari berbagai pertimbangan, seperti: persyaratan struktur, ekonomis, keawetan, kemudahan, dan pengalaman.

3.2 *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Stone Matrix Asphalt (SMA) merupakan campuran perkerasan dengan kadar agregat kasar tinggi. Kandungan agregat kasar yang tinggi dapat meningkatkan kontak antar butiran batu dengan batu pada campuran, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penyaluran beban roda kendaraan. Partikel agregat kasar akan tercampur baik dengan *filler*, serat, dan atau polimer dalam satu ketebalan aspal.

Menurut Sukirman (1999) dalam Gasruddin dan Ichwan (2022) menjelaskan bahwa *SMA* tersusun dari agregat kasar dengan kadar tinggi kurang lebih 70%, *Mastic Asphalt* ditambah *zat additi*ve serat selulosa.

Menurut Tahir (2011) penggunaan agregat kasar dengan jumlah fraksi yang tinggi mengakibatkan agregat saling mengunci *(interlocking)* sehingga menghasilkan campuran aspal yang tahan terhadap *rutting*.

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2018) *Stone Matrix Asphalt* dibedakan menjadi tiga bagian menurut ketebalan campuran aspalnya, yaitu:

a. *Stone Matrix Asphalt* Tipis : Tebal Nominal Minimum 3,0 cm
b. *Stone Matrix Asphalt* Halus : Tebal Nominal Minimum 4,0 cm
c. *Stone Matrix Asphalt* Kasar : Tebal Nominal Minimum 5,0 cm

Adapun ketentuan sifat sifat Campuran *SMA* adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Sifat-Sifat Campuran *SMA*

SIfat-Sifat Campuran		***SMA***	***SMA* Mod**
		Tipis, Halus dan Kasar	**Tipis, Halus dan Kasar**
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran(%)	Min	3,0	
	Maks	5,0	
Rongga dalam Agregat *(VMA)* (%)	Min	17	
Rasio *VCAmix/VCAdrc*	Min	<1	
Draindown pada temperatur produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam)	Maks	0,3	
Stabilitas *Marshall* (kg)	Min	600	750
Pelelehan (mm)	Min	2	
	Maks	4,5	
Stabilitas *Marshall* sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	
Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)		2500	3000

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

3.3 Material Penyusun Perkerasan Lentur

Material penyusun yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat halus, agregat kasar, bahan pengisi *(filler),* bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dan juga bahan tambah lainnya menyesuaikan dengan jenis campuran penelitian

3.3.1 Agregat

Agregat artinya sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa akibat alam juga buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat adalah material granular, seperti pasir, kerikil, batu pecah yang digunakan bersama sama menggunakan suatu media pengikat sebagai pembentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. Berikut merupakan gradasi agregat gabungan untuk campuran SMA berdasarkan Bina Marga (2018) Revisi 2 dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut

Tabel 3.2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		**% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat**		
		Stone Matrix Asphalt (SMA)		
ASTM	**(mm)**	**Tipis**	**Halus**	**Kasar**
1 ½”	37,5			
1”	25			100
¾”	19		100	90-100
½”	12,5	100	90-100	50-88
3/8”	9,5	70-95	50-80	25-60
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24
No.16	1,18	14-21		
No.30	0,600	12-18		
No.50	0,300	10-15		
No.100	0,150			
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

Berdasarkan ketentuan Bina Marga (2018) Revisi 2 agregat terbagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Fraksi Agregat kasar, agregat yang tertahan ayakan No.4 (4,75mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
2. Fraksi Agregat halus, agregat yang lolos ayakan No.4 (4,75mm) yang terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah.
3. Bahan Pengisi (*Filler)*, Agregat yang lolos ayakan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan.

Berdasarkan ketentuan Bina Marga (2018) Revisi 2 dapat dilihat pada tabel 3.3 dan 3.4 mengenai spesifikasi ketentuan Agregat kasar dan Agregat halus

Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian			**Metode pengujian**	**Nilai**
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
		Magnesium sulfat		Maks.18%
Abrasi dengan mesin *Los Angeles*	Campuran *AC* Modifikasi dan *SMA*	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.6%
		500 putaran		Maks.30%
	Semua jenis campuran bergradasi lainnya	100 putaran		Maks.8%
		500 putaran		Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min.95%
Butiran pecah pada agregat kasar		*SMA*	SNI 7619:2012	100/90*)
		Lainnya		95/90**)
Partikel pipih dan lonjong		*SMA*	SNI 8287:2016 Perbandingan	Maks.5%
		Lainnya		Maks.10%
Material lolos ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks.1%

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

Tabel 3.4 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin untuk Campuran Beraspal

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin *(cold bin)* minimum yang diperlukan (mm)			
	5-8	8-11	11-16	16-22
Stone Matrix Asphalt- Tipis	Ya	Ya		
Stone Matrix Asphalt- Halus	Ya	Ya	Ya	
Stone Matrix Asphalt- Kasar	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

Tabel 3.5 Spesifikasi Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	**Min.50%**
Uji kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2022	**Min.45**
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	**Maks 1%**
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	**Maks.10%**

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

3.3.2 Bahan Tambah atau *Stabilizer*

Bahan tambah atau *Stabilizer* merupakan bahan tambahan yang bersifat menstabilkan campuran aspal. Berdasarkan Bina Marga (2018) Revisi 2, Bahan tambah atau *stabilizer* yang ditambahkan ke dalam campuran, sekitar 0,3% terhadap total campuran, sehingga dapat mencegah terjadinya *Draindown*. Adapun ketentuan bahan tambah atau *stabilizer* sebagai berikut:

Tabel 3.6 Spesifikasi Bahan Tambah atau *Stabilizer* untuk *SMA*

Pengujian	Satuan	Persyaratan
Bentuk Serat:		
Panjang serat	Mm	Maks 6,35
Lolos ayakan No.20	%	85 ± 10
Lolos ayakan No.40	%	40 ± 10

Lanjutan Tabel 3.6 Spesifikasi Bahan Tambah atau *Stabilizer* untuk *SMA*

Lolos ayakan No.140 pH Penyerapan Minyak Kadar Air	% %	30 ± 10 7,5 ± 1,0 7,5 ± 1,0 kali berat serat selulosa Maks 5
Bentuk Pelet: Diameter Panjang	 Mm mm	 3,8-4,0 5,9-6,1

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

3.3.3 Aspal

Aspal merupakan cairan yang berasal dari alam atau pengolahan minyak bumi. Aspal atau bitumen adalah cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal digunakan sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur yang memiliki sifat viskoelastis. Pada konstruksi jalan aspal berfungsi sebagai pengikat rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang terdapat pada agregat itu sendiri.

Berdasarkan Bina Marga (2018) Revisi 2 Spesifikasi aspal yang digunakan pada campuran *SMA* adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Spesifikasi Aspal pada Campuran Panas Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen 60/70
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	$60 - 70$
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1
Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	$\leq 0{,}8$

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

3.4 Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan

Karakteristik campuran suatu lapisan perkerasan merupakan salah satu faktor untuk mengetahui kinerja suatu lapis perkerasan. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran lapis perkerasan adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas *(stability)*
2. *Voids in Total Mix (VITM)/* Rongga *Udara dalam Campuran*
3. *Void in the Mineral Agregat (VMA)* / Rongga di antara Mineral Agregat
4. *Voids Filled with Asphalt (VFWA)* / Rongga Terisi Aspal
5. Durabilitas *(Durability)*
6. Fleksibilitas *(Flexibility)*
7. Ketahanan terhadap kelelehan *(fatigue resistance)*
8. Kekesatan/ketahanan terhadap geser
9. Kedap air *(impermeabil*ity)
10. Kemudahan pelaksanaan *(workability)*

3.5 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Metode pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelehan, *VITM, , VMA VFWA, Density, , dan Marshall Quotient*

3.5.1 Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur maupun *bleeding*. Nilai stabilitas didapatkan dengan melakukan pembacaan pada alat uji *marshall* dengan pembacaan jarum dial. Berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai stabilitas yang dapat dilihat pada persamaan 3.1.

Nilai stabilitas sesungguhnya:

$$S = p \times q \quad (3.1)$$

Keterangan:

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = Pembaca arloji stabilitas

q = angka koreksi benda uji

3.5.2 Kelelehan *(Flow)*

Kelelehan atau *flow* merupakan keadaan dimana terjadi perubahan bentuk pada suatu campuran aspal yang disebabkan oleh beban yang bekerja pada perkerasan. Parameter kelelehan digunakan untuk mengetahui nilai besarnya deformasi vertikal dari campuran beton aspal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi kestabilan menurun akibat beban yang bekerja pada perkerasan jalan.

3.5.3 *Voids in Total Mix (VITM)*/ Rongga Udara dalam Campuran

VITM / Rongga Udara dalam Campuran merupakan persentase volume rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan, dinyatakan dalam satuan %. Berikut merupakan persamaan untuk mengetahui volume rongga udara yang dapat dilihat pada persamaan 3.2 dan 3.3.

$$VITM = 100 - (100 \text{ x } \frac{g}{h}) \quad (3.2)$$

$$h = \frac{100}{\frac{\%\ agregat}{b.j\ agregat} + \frac{\%\ aspal}{b.j\ aspal}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

g : berat volume benda uji (gr/cc)

h : berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)

3.5.4 *Void in the Mineral Agregat (VMA)*/Rongga di antara Mineral Agregat

VMA / Rongga diantara Mineral Agregat merupakan persentase rongga yang ada diantara butiran agregat dalam campuran beton aspal yang telah dipadatkan termasuk ruang terisi aspak yang dinyatakan dalam satuan % terhadap volume campuran beton aspal. *VMA* dapat dihitung dengan dua cara. Berikut merupakan perhitungan *VMA* terhadap campuran total yang dapat dilihat pada persamaan 3.4 dan 3.5.

1. Jika ditentukan sebagai persentase dari berat beton aspal padat

   $$VMA = (100 \text{ x } \frac{Gmb\ x\ Ps}{Gsb}) \% \quad (3.4)$$

   Keterangan :

VMA = rongga di antara butiran agregat,persen volume bulk

Gsb = berat jenis volume bulk

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Ps = kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

2. Jika ditentukan dari persentase berat agregat

$$VMA = (100 - \frac{Gmb}{Gsb} \text{ x } \frac{100}{100+pb}\ x\ 100) \quad (3.5)$$

Keterangan :

VMA = rongga di antara butiran agregat,persen volume bulk

Gsb = berat jenis volume bulk

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

3.5.5 *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*/Rongga Terisi Aspal

VFWA / Rongga Terisi Aspal merupakan rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam bentuk (%) terhadap rongga antar butir agregat *(VMA)*. Adapun faktor faktor yang mempengaruhi *VFWA* antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan, dan pemanasan aspal. Berikut merupakan persamaan untuk mengetahui Rongga Terisi Aspal yang dapat dilihat pada persamaan 3.6.

$$VFWA = \frac{100\ (VMA-VITM)}{VMA} \quad (3.6)$$

Keterangan :

VFWA : rongga terisi aspal,persen *VITM*

VMA : rongga di antara mineral agregat,persen volume bulk

VITM : volume pori dalam beton aspal padat

3.5.6 *Density*

Density merupakan kepadatan dari campuran beton aspal yang telah dipadatkan yang dinyatakan dalam satuan gr/cc. Semakin besar nilai *density*, maka kepadatan semakin baik. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi *density* antara lain gradasi bahan, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, dan kadar aspal.

Berikut merupakan persamaan nilai *density* yang dapat dilihat pada persamaan 3.7 dan 3.8.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.7)$$

$$f = d - e \quad (3.8)$$

Keterangan :

g = Nilai *density* (gr/cc)

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)

3.5.7 *Marshall Quotient*

MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow.* Nilai *MQ* menunjukkan fleksibilitas campuran, yaitu semakin besar nilai pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila terlalu kaku cenderung mudah retak) campuran tersebut, demikian juga bila semakin kecil nilai *MQ* maka tingkat kelenturan dan plastisitas cenderung kurang stabil. Berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai *MQ* yang dapat dilihat pada persamaan 3.9.

$$MQ = \frac{s}{f} \quad (3.9)$$

Keterangan :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = Nilai stabilitas toleransi (kg)

F = nilai *flow* (mm)

3.6 *Index of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran aspal akibat pengaruh air, cuaca dan suhu. pengujian ini dilakukan terhadap benda uji dengan cara memasukan benda uji ke dalam *waterbath* selama 24 jam dengan suhu konstan 60°C sebelum benda uji dilakukan pembebanan.

Berikut ini merupakan perhitungan pada pengujian *IRS.* Nilai *IRS* dapat dilihat pada persamaan 3.10 berikut.

$$IRS = \frac{S2}{S1} \text{ x } 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan :

S1 = Stabilitas setelah direndam selama 30 menit

S2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

3.7 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengujian *ITS* bertujuan untuk mengetahui nilai gaya Tarik campuran perkerasan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui potensi kerusakan perkerasan yang akan terjadi. Pengujian *ITS* secara normal dilaksanakan menggunakan *Marshall* yang telah dimodifikasikan dengan pelat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall.* Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam. Berikut merupakan perhitungan pengujian *ITS* yang dapat dilihat pada persamaan 3.11.

$$ITS = \frac{2 \, x \, p}{\pi \, x \, d \, x \, h} \quad (3.11)$$

Keterangan :

ITS = kuat tarik tidak langsung (N/mm)

P runtuh = beban puncak (N)

d = diameter sampel (mm)

h = tinggi sampel (mm)

3.8 *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Pengujian *TSR* merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan campuran terhadap daya tahan tarik. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall* yang berbeda adalah pengujian ini tidak menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung. Pada pengujian ini benda uji direndam selama 24 jam pada *waterbath* pada suhu 60℃. Nilai daya tahan tarik tanpa

rendaman maka nilai hasil pengujian dikali dengan 100. Nilai pengujian *TSR* harus lebih dari 80%. Berikut merupakan perhitungan pada *TSR* yang dapat dilihat pada persamaan 3.12.

$$TSR \quad : \frac{S1}{S2}\ x\ 100 \tag{3.12}$$

Katerangan :

TSR = *Tensile Strength Ratio (TSR)* (Kg/cm^2)

S1 = Rata-rata nilai *ITS* setelah dilakukan rendaman selama 30 menit

S2 = Rata-rata nilai *ITS* setelah dilakukan rendaman selama 24 jam.

3.9 *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *CL* merupakan pengujian yang dilakukan menggunakan mesin *Loss Angeles* dengan benda uji yang telah dipadatkan pada kedua sisinya tanpa menggunakan bola baja agar diketahui besar batas keausan akibat pembebanan roda lalu lintas. Pengujian *CL* bertujuan untuk mengetahui nilai ketahanan benda uji terhadap keausan pada suatu campuran aspal beton. Nilai *CL* dapat dilihat pada persamaan 3.13 berikut.

$$L = \frac{M0 - M1}{M0} \tag{3.13}$$

Keterangan:

L = persentase kehilangan berat (%)

M0 = berat benda uji sebelum di abrasi (gr)

M1 = berat benda uji setelah di abrasi (gr)

3.10 *Draindown*

Draindown merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mengukur potensi pemisahan agregat dan aspal dalam campuran, yang dikenal sebagai "aliran aspal" *(asphalt flow down).* Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa aspal tidak mengalir keluar dari campuran ketika terkena suhu tinggi selama proses penghamparan atau pemasangan. Hal ini juga bertujuan untuk menjaga Stabilitas

campuran sehingga lapisan perkerasan memiliki daya tahan dan performa yang optimal terhadap beban lalu lintas dan kondisi cuaca ekstrim. Spesifikasi *Draindown* untuk campuran SMA menetapkan batas maksimal nilai *Draindown* adalah 0,3% dari total berat campuran yang ditetapkan dalam (SNI 8129:2015). Nilai perhitungan *Draindown* dapat dihitung dengan persamaan 3.14 berikut.

$$Draindown = \frac{A-B}{C} \quad (3.14)$$

Keterangan:

Draindown = persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%)

A = berat akhir piring penampung (gr)

B = berat awal piring penampung (gr)

C = berat awal jumlah campuran yang diuji (gr)

3.11 Analisis Statistik *ANOVA*

Uji statistik merupakan rumus-rumus yang berhubungan dengan distribusi tertentu dalam pengujian hipotesis. Uji statistik adalah perhitungan untuk mengetahui parameter data sampel yang diambil dari sebuah populasi. Penelitian ini menggunakan *ANOVA* untuk mendapatkan kesimpulan. *ANOVA* atau *Analysis of Variance* merupakan sebuah analisis statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata sampel bila datanya berbentuk interval atau ratio (Sugiyono, 2010). Pengujian ini menggunakan *One Way Anova*, yaitu analisis varian klarifikasi tunggal. *One Way Anova* (analisis ragam satu arah) biasanya digunakan untuk menguji rata-rata atau pengaruh perlakuan dari suatu percobaan yang menggunakan satu faktor,di mana satu faktor tersebut memiliki tiga atau lebih kelompok. Berikut adalah syarat untuk melakukan uji *ANOVA*.

1. Uji Normalitas

   Distribusi data harus normal, agar distribusi normal, dapat ditempuh dengan cara memperbanyak jumlah sampel dalam kelompok.
2. Uji Homogen

Setiap kelompok hendaknya berasal dari popolasi yang sama dengan variansi yang sama pula. Bila banyaknya sampel sama pada setiap kelompok maka kesamaan variansinya dapat diabaikan. Tapi bila banyak sampel pada masing masing kelompok tidak sama maka kesamaan variansi populasi sangat diperlukan.

Ada tiga bagian pengukuran variabilitas dalam pada data yang akan dianalisis dengan *ANOVA*, yaitu :

1. Variabilitas antar kelompok (*between treatments variability*)
   Variabilitas antar kelompok adalah variansi *mean* kelompok sampel terhadap rata-rata total, sehingga variansi lebih terpengaruh oleh adanya perbedaan perlakuan antar kelompok, atau Jumlah Kuadrat antar kelompok (Jka).
2. Variabilitas dalam kelompok (*within treatments variability*)
   Variabilitas dalam kelompok adalah variansi yang ada dalam masing-masing kelompok. Banyaknya variansi akan tergantung pada banyaknya kelompok. Variansi tidak terpengaruh oleh perbedaan perlakuan antar kelompok, atau Jumlah Kuadrat dalam (JKd).
3. Jumlah kuadrat penyimpangan total (*total sum of squares*)
   Jumlah kuadrat penyimpangan total adalah jumlah kuadrat selisih antara skor individual dengan mean totalnya, atau JKT.

Berikut ini merupakan perhitungan pada pengujian statistik *ANOVA.*

1. Saat rumusan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel. Berikut merupakan rumusan hipotesis yang dapat dilihat pada persamaan 3.15 dan 3.16 berikut.
   H_0 : $\mu 1 = \mu 2 = \mu 3 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mu k$ (3.15)
   H1 : $\mu 1 \neq \mu 2 \neq \mu 3 \neq \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \neq \mu k$ (3.16)
2. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.
   Jika nilai F-hitung > F-tabel ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
   Jika nilai F-hitung < F-tabel ; maka H_0 ditolak dan H_1 ditolak.

3. Menentukan nilai signifikasi atau *P-Value* yang nilai besaran α biasanya menggunakan nilai 5% atau 0,05.
   Jika nilai signifikan atau *P-Value* > 0,05 ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
   Jika nilai signifikan atau *P-Value* < 0,05 ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.
4. Perumusan keputusan H_0 dan H_1
   H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan pada penggunaan agregat halus Pantai Pandansimo terhadap aspal *Stone Matrix Asphalt (SMA).*
   H_1 : Ada perbedaan yang signifikan pada penggunaan agregat halus Pantai Pandansimo terhadap aspal *Stone Matrix Asphalt (SMA).*

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian merupakan langkah langkah atau kegiatan yang akan dilakukan peneliti untuk mendapatkan informasi dan data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian. Pada penelitian ini dilakukan metode penelitian percobaan atau eksperimental. Maksud dari metode penelitian percobaan merupakan penelitian dengan membuat sampel benda uji dengan jumlah tertentu yang akan dilakukan pengujian untuk mendapatkan data data yang akan diolah lebih lanjut yang kemudian akan dibandingkan dengan standar atau spesifikasi yang digunakan. Dalam penelitian ini standar spesifikasi yang digunakan mengacu pada SNI dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

4.2 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data dalam penelitian ini terdapat beberapa metode. Pengambilan data pada penelitian ini menggunakan data primer yang dilakukan selama pengujian dan data sekunder yang didapat dari penelitian penelitian sebelumnya. Untuk mempermudah dalam pengolahan data, maka benda uji dikelompokkan berdasarkan benda ujinya yaitu data stabilitas, kelelehan *(flow), VITM, VFWA, density, VMA,* dan *Marshall Quotient, nilai IRS 24 jam, ITS, TSR CL* dan *Draindown.*

4.3 Tahapan Penelitian

Semua tahapan penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII). Beberapa tahapan yang akan dilakukan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

   Tahapan persiapan merupakan tahapan pertama yang mencakup semua rangkaian persiapan bahan dan alat yang akan digunakan dalam pembuatan sampel.

2. Pengujian Sampel

   Pengujian sampel merupakan tahapan yang dilakukan setelah melakukan persiapan dan merupakan rangkaian pengujian yang telah direncanakan dari awal dan harus sesuai dengan spesifikasi pengujian dan menggunakan alat pengujian yang telah dikalibrasi agar mendapatkan nilai hasil yang valid.

3. Pengumpulan Data

   Pengumpulan data merupakan tahapan setelah dilakukannya semua tahapan pengujian sampel yang kemudian akan menghasilkan sebuah data dari pengujian yang dilakukan.

4. Analisis Data

   Analisis data merupakan tahapan setelah semua data pengujian didapatkan kemudian diolah dan dilakukan analisis data. Hasil analisis data yang telah didapat kemudian akan dibandingkan dengan standar dan persyaratan yang telah ditentukan.

5. Kesimpulan

   Kesimpulan merupakan tahapan yang memberikan hasil akhir atau kesimpulan dari data yang telah dibandingkan dengan spesifikasi yang telah ditentukan yang bersifat final.

4.4 Langkah Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa langkah penelitian yang harus dilakukan. Adapun Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

4.4.1 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan Material bertujuan untuk mengetahui apakah material sudah memenuhi standar dan spesifikasi yang telah ditentukan Direktorat Jendral Bina Marga 2018 Revisi 2 atau belum. Berikut merupakan pemeriksaan atau pengujian yang dilakukan pada agregat dan aspal.

1. Pengujian Agregat

   a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, berpedoman pada SNI 1969 : 2016. Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis *(bulk)*, berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry) (SSD)*, dan berat jenis semu agregat serta, penyerapan air oleh agregat kasar.

   b. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, berpedoman pada SNI 1970:2016. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis *(bulk),* berat jenis permukaan jenuh *(Saturated Surface Dry)* (SSD), dan berat jenis semu agregat serta penyerapan air oleh agregat kasar.

   c. Pengujian kelekatan oleh agregat aspal, berpedoman pada SNI 2439:2011. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mengetahui tingkat daya lekat suatu agregat terhadap aspal. Kelekatan agregat terhadap aspal merupakan persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan luas.

   d. Pengujian *Sand Equivalent*, Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar debu dan lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus

   e. Pengujian abrasi *(Los Angeles)*, berpedoman pada SNI 2417:2008. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin *Loss Angeless*, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan.

Berikut merupakan agregat yang digunakan dalam pengujian yang dapat dilihat pada gambar 4. 1 sampai 4.3 berikut

Gambar 4.1 Agregat Halus Clereng

Gambar 4.2 Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo

Gambar 4.3 Agregat Kasar Clereng

2. Pengujian Aspal

   a. Pengujian berat jenis aspal yang berpedoman pada SNI 2441:2011. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dan volume yang sama pada suhu tertentu. Besarnya berat jenis digunakan untuk membuat perencanaan perkerasan karena hasil tersebut akan digunakan untuk menentukan kadar aspal dalam campuran.

b. Pengujian penetrasi aspal yang berpedoman pada SNI 2456:2011. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal, apakah aspal termasuk dalam kategori keras atau lembek (solid atau semi solid).
c. Pengujian titik lembek yang berpedoman pada SNI 2434:2011. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai titik lembek aspal padat yang nilainya berkisar antara 30℃ sampai 200℃ dengan cara *ring and ball*.
d. Pengujian daktilitas yang berpedoman pada 2432:2011. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan sifat kohesi dalam aspal dengan mengetahui jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan pada suhu dan kecepatan tertentu.
e. Pengujian titik nyala dan titik bakar yang berpedoman pada SNI 2433:2011. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perkiraan temperatur maksimum pemanasan aspal dimana aspal terlihat menyala secara singkat (titik nyala) dan aspal menyala sekitar 5 detik (titik bakar).
f. Pengujian kelarutan terhadap *tetra klorida* atau *trichloroethylene* yang berpedoman pada SNI 2438:2015. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar aspal yang larut pada *tetra klorida*. Hasil dari pengujian ini adalah nilai kemurnian aspal terhadap bahan lainnya.

Berikut merupakan standar pengujian aspal yang digunakan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Pengujian untuk Aspal Penetrasi 60/70

Jenis Pengujian	**Metode Penelitian**	**Aspal Pen 60/70**
Penetrasi pada 25℃ (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
Titik Lembek (℃)	SNI 2434:2011	≥48
Daktilitas pada 25℃ (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100

Lanjutan Tabel 4.1 Pengujian untuk Aspal Penetrasi 60/70

Jenis Pengujian	**Metode Penelitian**	**Aspal Pen 60/70**
Titik Nyala (℃)	SNI 2433:2011	≥ 232
Kelarutan dalam *trichloroethylene* (%)	*AASHTO* T44-14	≥ 99
Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

4.4.2 Persiapan Alat

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan dalam penelitian dan semua alat penelitian ini terdapat di Laboratorium Jalan Raya Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII). Adapun alat alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan pengujian fisik aspal yang mencakup alat ukur kelarutan aspal, daktilitas aspal, penetrasi aspal, titik lembek, titik nyala dan titik bakar aspal.
2. Peralatan pengujian fisik agregat yang mencakup mesin *Loss Angeless*, piknometer, saringan standar dan vibrator, dan tabung *Sand Equivalent*.
3. Peralatan pengujian *Marshall*:
    a. Cetakan benda uji *(mold)*
    b. *Breaking head*
    c. Cincin dengan kapasitas 2500 kg (5000 *pound*) dengan ketelitian 0,0025cm (0,0001”) dan arloji dengan kelelahan dengan ketelitian 0,25mm (0,01”)
    d. Alat penunjang seperti kompor dan pemadat *(compactor)* dengan berat 4,536 kg (10 *pound*) dengan tinggi 45,7 cm (18 inch) dan bak perendaman
4. Peralatan *pengujian Indirect Tensile Strength*
    a. Alat ukur tekan *(strip loading)* selebar 13mm (0,5 inch)
    b. Arloji pengukur kelelehan *(flow)* dengan ketelitian 0,25 mm
    c. Arloji pengukuran stabilitas

d. Alat penunjang seperti kompor dan pemadat *(compactor)* dengan berat 4,536 kg (10 *pound*) dengan tinggi 45,7 cm (18 *inch*) dan cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, dan oven.

5. Peralatan Pengujian *CL*
   a. Mesin *Los Angeles* tanpa bola baja.
   b. Alat timbang dengan ketelitian 0,1 gram.
6. Peralatan Pengujian *Draindown*
   a. Timbangan benda uji.
   b. Oven.
   c. Piring sebagai alas penampung lelehan *mastic* atau aspal.

4.4.3 Perencanaan Campuran

Dalam perencanaan campuran yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu campuran *SMA*, campuran terdiri dari beberapa gabungan antara agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi *(Filler),* aspal yang telah diuji terlebih dahulu sebelum digunakan dalam pembuatan campuran dan bahan tambah aditif selulosa. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah bahan tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga dan SNI yang ditentukan atau belum.

Setelah dilakukan pengujian dan semua bahan uji memenuhi spesifikasi yang ditentukan maka dapat dilanjutkan dengan penyaringan sesuai gradasi yang direncanakan.Adapun gradasi yang digunakan dalam campuran *SMA* dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut:

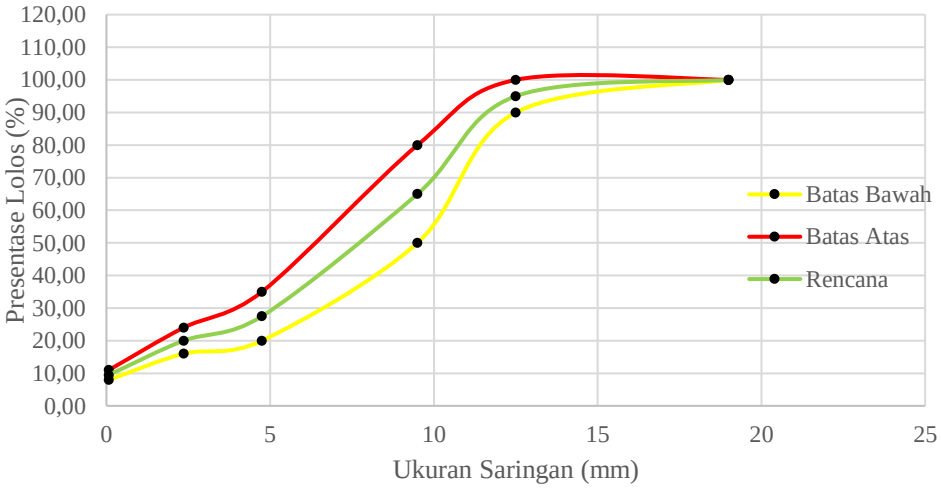
Tabel 4.2 Spesifikasi Gradasi Agregat *SMA*

No	Ukuran Saringan		Lolos Saringan	Ideal	
				Lolos	Tertahan
	(mm)	ASTM	(%)	(%)	(%)
1	19	¾”	100	100	0
2	12,5	½”	90-100	95	5
3	9,5	3/8”	50-80	65	35

Lanjutan Tabel 4.2 Spesifikasi Gradasi Agregat *SMA*

No	Ukuran Saringan		Lolos Saringan	Ideal	
				Lolos	Tertahan
	(mm)	ASTM	(%)	(%)	(%)
4	4,75	No. 4	20-35	27,5	72,5
5	2,36	No. 8	16-24	20	80
6	0,075	No. 200	8-11	9,5	90,5
7	Pan		0	0	100

Sumber: Bina Marga (2018) dan SNI (1859:2015)



Gambar 4.4 Rencana Gradasi Agregat Campuran SMA

Adapun penentuan kadar aspal adalah sebagai berikut:

Pb = 0,035 (% CA) + 0,045 (%FA) + 18 (%*Filler*) + K

Keterangan:

Pb : Kadar Aspal

CA : Persen agregat kasar (tertahan pada saringan No.4)

FA : Persen agregat halus (lolos pada saringan No.4 dan tertahan saringan No.200)

K : Konstanta (1-2)

Berdasarkan perhitungan *mix design* pada gambar 4.1 didapat nilai CA =72,5 % ; FA = 18 % ; *Filler* = 9,5% dan konstanta = 1, maka perhitungan perkiraan kadar aspal adalah sebagai berikut:

Pb = 0,035 (% CA) + 0,045 (%FA) + 18 (%*Filler*) + K

Pb = 0,035 (72,5%) + 0,045 (18%) + 18 (9,5%) + 1

= 6,0575 %

Berdasarkan perhitungan penentuan kadar aspal, didapatkan perkiraan kadar aspal optimum sebesar 6,0575 %, untuk mencari kadar aspal optimum (KAO) dalam pengujian ini. Kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram. Kadar serat selulosa pada masing-masing benda uji sebesar 0,3% terhadap berat total campuran, yaitu sebanyak 3,6 gram. Untuk total kebutuhan agregat dalam setiap campuran berdasarkan berat total campuran yang dikurangi dengan berat total aspal yang dibutuhkan. Berikut merupakan kebutuhan subtitusi agregat halus variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% untuk setiap kadar aspal yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 sampai 4.7 dibawah ini:

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)	
ASTM	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Jumlah**
¾”	19	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
½”	12,5	90,0	100,0	95,0	5,0	57,0	57,0
3/8”	9,5	50,0	80,0	65,0	30,0	342,0	399,0
No, 4	4,75	20,0	35,0	27,5	37,5	427,5	826,5
No, 8	2,36	16,0	24,0	20,0	7,5	85,5	912,0
No, 200	0,075	8,0	11,0	9,5	10,5	119,7	1031,7
Pan		0,0	0,0	0,0	9,5	108,3	1140,0
Jumlah						**1140**	**gram**

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)	
ASTM	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Jumlah**
¾”	19	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
½”	12,5	90,0	100,0	95,0	5,0	56,7	56,7
3/8”	9,5	50,0	80,0	65,0	30,0	340,2	396,9
No, 4	4,75	20,0	35,0	27,5	37,5	425,3	822,2

Lanjutan Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)	
ASTM	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Jumlah**
No, 8	2,36	16,0	24,0	20,0	7,5	85,1	907,2
No, 200	0,075	8,0	11,0	9,5	10,5	119,1	1026,3
Pan		0,0	0,0	0,0	9,5	107,7	1134,0
Jumlah						**1134**	**gram**

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)	
ASTM	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Jumlah**
¾”	19	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
½”	12,5	90,0	100,0	95,0	5,0	56,4	56,4
3/8”	9,5	50,0	80,0	65,0	30,0	338,4	394,8
No, 4	4,75	20,0	35,0	27,5	37,5	423,0	817,8
No, 8	2,36	16,0	24,0	20,0	7,5	84,6	902,4
No, 200	0,075	8,0	11,0	9,5	10,5	118,4	1020,8
Pan		0,0	0,0	0,0	9,5	107,2	1128,0
Jumlah						**1128**	**gram**

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)	
ASTM	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Jumlah**
¾”	19	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
½”	12,5	90,0	100,0	95,0	5,0	56,1	56,1
3/8”	9,5	50,0	80,0	65,0	30,0	336,6	392,7
No, 4	4,75	20,0	35,0	27,5	37,5	420,8	813,5
No, 8	2,36	16,0	24,0	20,0	7,5	84,2	897,6
No, 200	0,075	8,0	11,0	9,5	10,5	117,8	1015,4
Pan		0,0	0,0	0,0	9,5	106,6	1122,0
Jumlah						**1122**	**gram**

Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)	
ASTM	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Jumlah**
¾”	19	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
½”	12,5	90,0	100,0	95,0	5,0	55,8	55,8
3/8”	9,5	50,0	80,0	65,0	30,0	334,8	390,6
No, 4	4,75	20,0	35,0	27,5	37,5	418,5	809,1
No, 8	2,36	16,0	24,0	20,0	7,5	83,7	892,8
No, 200	0,075	8,0	11,0	9,5	10,5	117,2	1010,0
Pan		0,0	0,0	0,0	9,5	106,0	1116,0
Jumlah						**1116**	**gram**

Adapun rincian benda uji yang digunakan untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) dan benda uji yang digunakan berdasarkan subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9 berikut.

Tabel 4.8 Kebutuhan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO)

Variasi Subtitusi Agregat Halus (%)	Jumlah Benda Uji Pada Tiap 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				

Tabel 4.9 Jumlah Benda Uji Total Berdasarkan Subtitusi Agregat Halus

Jenis Pengujian	Jumlah Benda Uji Berdasarkan Variasi Subtitusi Agregat Halus (Buah)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Marshall	3	3	3	3	3
IRS	3	3	3	3	3
ITS	3	3	3	3	3
TSR	3	3	3	3	3
**CL*	3	3	3	3	3
Draindown	3	3	3	3	3
Jumlah	18	18	18	18	18
Total	90				

Keterangan :

**CL* : sampel uji diambil dari pengujian *ITS*.

Berdasarkan Tabel 4.8 didapat total benda uji setelah mendapatkan nilai KAO sebanyak 75 buah dan pembuatan sampel setelah mendapatkan nilai KAO sebanyak 90 buah. Adapun total benda uji yang didapat sebanyak 165 benda uji.

4.4.4 Pembuatan Campuran Benda Uji

Dalam pembuatan campuran untuk benda uji dilakukan setelah melakukan tahapan perencanaan campuran dengan melakukan penyaringan agregat untuk memisahkan distribusi butir agregat sesuai dengan nomor saringan yang digunakan.

Dilakukan penimbangan terhadap agregat yang tertahan di setiap nomor saringan. Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Memanaskan aspal pada suhu tertentu, pada penelitian ini menggunakan aspal pen 60/70 yang dipanaskan mencapai suhu 160℃.
3. Memanaskan agregat kasar , agregat halus, filler, dan serat selulosa sampai suhu 170℃, kemudian mencampurkan kadar aspal sesuai dengan persentase yang telah ditetapkan dan mengaduk sampai homogen.
4. Membersihkan cetakan benda uji dan mengolesi bagian dalam cetakan dengan menggunakan oli
5. Meletakkan kertas yang telah dicetak sesuai dengan ukuran cetakan pada bagian bawah. Kemudian memasukkan campuran benda uji yang telah tercampur merata sebanyak 1/3 bagian dari volume cetakan dan ditusuk-tusuk menggunakan spatula sebanyak 25 kali. Dengan cara yang sama, benda uji dimasukkan sampai cetakan penuh kemudian meletakkan kertas di bagian atas
6. Meletakkan cetakan yang telah berisi benda uji di atas mesin pemadat, kemudian menyeting mesin pemadat sebanyak 50 kali tumbukan pada setiap sisi.
7. Setelah selesai pemadatan, benda uji dikeluarkan dari mesin pemadat dan didiamkan agar tidak terlalu panas.
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan menggunakan *ejector hydraulic pump*, kemudian mendiamkan benda uji tersebut dan mengambil kertas pada kedua sisi.

4.5 Perencanaan Gradasi dengan Variasi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo dengan Pasir Clereng

Berdasarkan perhitungan kadar aspal yang telah dihitung pada kadar aspal pen 60/70 sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%membutuhkan benda uji sebanyak 75 buah dengan jumlah benda uji sebanyak 3 buah untuk masing masing persentase pada pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO). Untuk menentukan berat volume maka perlu diketahui berat jenis masing masing agregat halus. Adapun berat jenis dari pasir clereng sebesar 2,6003gr/cm^3 dan berat jenis Pantai Pandansimo

sebesar 2,85 gr/cm^3. Hal ini digunakan untuk mengetahui perbandingan berat yang sama dengan berat asli sehingga dapat melingkupi kebutuhan yang sama. Adapun untuk subtitusi agregat halus variasi 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dapat dilihat pada Tabel 4.10 sampai 4.34 berikut.

1. Kadar Aspal 5%

Tabel 4.10 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00	57,00	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	342,00	399,00	342,00	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	427,50	826,50	427,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,50	912,00	85,50	0,00
No. 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70	119,70	0,00
Pan		0.00	0,00	0,00	0,00	108,30	1140,00	108,30	0,00
Jumlah						1140		1140	

Tabel 4.11 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00	57,00	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	342,00	399,00	342,00	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	427,50	826,50	427,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,50	912,00	64,13	21,37
No,200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70	89,78	29,92
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	108,30	1140,00	81,23	27,07
Jumlah						1140		1061,63	78,38

Tabel 4.12 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00	57,00	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	342,00	399,00	342,00	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	427,50	826,50	427,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,50	912,00	42,75	42,75
No. 200	0.075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70	59,85	59,85
Pan		0.00	0,00	0,00	0,00	108,30	1140,00	54,15	54,15
Jumlah						1140		983.08	156.75

Tabel 4.13 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00	57,00	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	342,00	399,00	342,00	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	427,50	826,50	427,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,50	912,00	21,38	64,12
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70	29,93	89,77
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	108,30	1140,00	27,08	81,22
Jumlah						1140		904,88	253,13

Tabel 4.14 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00	57,00	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	342,00	399,00	342,00	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	427,50	826,50	427,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,50	912,00	0,00	85,50
No. 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70	0,00	119,70
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	108,30	1140,00	0,00	108,30
Jumlah						1140		826,50	313,50

2. Kadar Aspal 5,5%

Tabel 4.15 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,70	56,70	56,70	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	340,20	396,90	340,20	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	425,25	822,15	425,25	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,05	907,20	85,05	0,00
No. 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,07	1026,27	119,07	0,00
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,73	1134,00	107,73	0,00
Jumlah						1134		1134	0,00

Tabel 4.16 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,7	56,7	56,7	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	340,2	396,9	340,2	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	425,25	822,15	425,25	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,05	907,2	63,78	21,26
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,07	1026,27	89,30	29,76
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,73	1134	80,79	26,93
Jumlah						1134		1056,03	77,96

Tabel 4.17 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,70	56,70	56,70	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	340,20	396,90	340,20	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	425,25	822,15	425,25	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,05	907,20	42,53	42,52
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,07	1026,27	59,54	59,53
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,73	1134,00	53,87	53,86
Jumlah						1134		978,08	155,93

Tabel 4.18 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,70	56,70	56,70	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	340,20	396,90	340,20	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	425,25	822,15	425,25	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,05	907,20	21,26	63,78
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,07	1026,27	29,77	89,30
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,73	1134,00	26,93	80,79
Jumlah						1134		900,11	233,89

Tabel 4.19 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,70	56,70	56,70	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	340,20	396,90	340,20	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	425,25	822,15	425,25	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	85,05	907,20	0,00	85,05
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,07	1026,27	0,00	119,07
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,73	1134,00	0,00	107,73
Jumlah						1134		822,15	311,85

3. Kadar Aspal 6%

Tabel 4.20 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,40	56,40	56,40	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	338,40	394,80	338,40	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	423,00	817,80	423,00	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,60	902,40	84,60	0,00
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,44	1020,84	118,44	0,00
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,16	1128,00	107,16	0,00
Jumlah						1128		1128,00	0,00

Tabel 4.21 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,4	56,4	56,4	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	338,4	394,8	338,4	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	423	817,8	423	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,6	902,4	63,45	21,15
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,44	1020,84	88,83	29,61
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,16	1128	80,37	26,79
Jumlah						1128		1050,45	77,55

Tabel 4.22 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 6 %

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,40	56,40	56,40	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	338,40	394,80	338,40	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	423,00	817,80	423,00	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,60	902,40	42,30	42,3
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,44	1020,84	59,22	59,22
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,16	1128,00	53,58	53,58
Jumlah						1140		826,50	313,50

Tabel 4.23 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,40	56,40	56,40	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	338,40	394,80	338,40	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	423,00	817,80	423,00	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,60	902,40	21,15	63,45
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,44	1020,84	29,61	88,83
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,16	1128,00	26,79	80,37
Jumlah						1128		895,35	232,65

Tabel 4.24 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,40	56,40	56,40	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	338,40	394,80	338,40	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	423,00	817,80	423,00	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,60	902,40	0,00	84,60
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,44	1020,84	0,00	118,44
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,16	1128,00	0,00	107,16
Jumlah						1128		817,80	310,20

4. Kadar Aspal 6,5%

Tabel 4.25 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,10	56,10	56,10	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,60	392,70	336,60	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,75	813,45	420,75	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,15	897,60	84,15	0,00
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41	117,81	0,00
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122,00	106,59	0,00
Jumlah						1122		1122,00	0,00

Tabel 4.26 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,1	56,1	56,1	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,6	392,7	336,6	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,75	813,45	420,75	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,15	897,6	63,11	21,03
No.200	0.075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41	88,35	29,45
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122	79,94	26,64
Jumlah						1122		1044,86	77,13

Tabel 4.27 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,10	56,10	56,10	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,60	392,70	336,60	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,75	813,45	420,75	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,15	897,60	42,08	42,07
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41	58,91	58,90
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122,00	53,30	53,29
Jumlah						1122		967,73	154,28

Tabel 4.28 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,10	56,10	56,10	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,60	392,70	336,60	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,75	813,45	420,75	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,15	897,60	21,04	63,11
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41	29,45	88,35
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122,00	26,65	79,94
Jumlah						1122		890,59	231,41

Tabel 4.29 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,10	56,10	56,10	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,60	392,70	336,60	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,75	813,45	420,75	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,15	897,60	0,00	84,15
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41	0,00	117,81
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122,00	0,00	106,59
Jumlah						1122		813,45	308,55

5. Kadar Aspal 7%

Tabel 4.30 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 0% dengan Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	55,80	55,80	55,80	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	334,80	390,60	334,80	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	418,50	809,10	418,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	83,70	892,80	83,70	0,00
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98	117,18	0,00
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116,00	106,02	0,00
Jumlah						1116		1116,00	0,00

Tabel 4.31 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 25% dengan Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	55,8	55,8	55,8	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	334,8	390,6	334,8	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	418,5	809,1	418,5	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	83,7	892,8	62,775	20,92
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98	87,885	29,29
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116	79,515	26,50
Jumlah						1116		1039,27	76,72

Tabel 4.32 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 50% dengan Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	55,80	55,80	55,80	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	334,80	390,60	334,80	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	418,50	809,10	418,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	83,70	892,80	41,85	41,85
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98	58,59	58,59
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116,00	53,01	53,01
Jumlah						1116		962,55	153,45

Tabel 4.33 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 75% dengan Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	55,80	55,80	55,80	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	334,80	390,60	334,80	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	418,50	809,10	418,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	83,70	892,80	20,93	62,77
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98	29,30	87,88
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116,00	26,51	79,51
Jumlah						1116		885,83	230,18

Tabel 4.34 Perencanaan Variasi Pasir Pantai Pandansimo 100% dengan Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
¾”	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
½”	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	55,80	55,80	55,80	0,00
3/8”	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	334,80	390,60	334,80	0,00
No. 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	418,50	809,10	418,50	0,00
No. 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	83,70	892,80	0,00	83,70
No.200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98	0,00	117,18
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116,00	0,00	106,02
Jumlah						1116		809,10	306,90

4.6 Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk pemeriksaan stabilitas dan kelelehan *(flow)* serta analisis kepadatan dan pori pori dari campuran padat yang terbentuk.

Adapun urutan pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan benda uji dari kotoran yang menempel
2. Memberikan tanda pada masing masing benda uji
3. Menimbang benda uji dalam keadaan kering
4. Melakukan pengukuran tinggi benda uji
5. Merendam benda uji ke dalam air dengan durasi sekitar 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji dalam keadaan jenuh air.

6. Menimbang benda uji di dalam air.
7. Mengeringkan atau mengelap permukaan benda uji hingga kering permukaan jenuh *(SSD),* kemudian menimbang benda uji.
8. Merendam benda uji ke dalam bak perendam selama 30 menit dengan suhu ±60℃.
9. Sebelum dilakukan pengujian, membersihkan dan melumasi batang penuntun *(Guiding road)* dan permukaan dalam dari kepala penekan *(Test Head)* sehingga kepala penekan dapat meluncur dengan mudah.
10. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam dan menaruhnya ke alat *Marshall* pada segmen bawah kepala penekan.
11. Memasang segmen atas diatas benda uji dan menaruh keseluruhannya dalam mesin pengujian.
12. Memasang arloji kelelehan *(Flow Meter)* pada posisi diatas salah satu batang penuntun *(guide road).*
13. Menaikkan kepala penekan (*Test Head*) benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji. Kemudian mengatur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
14. Melakukan pembebanan dengan kecepatan konstan 50 mm/ menit hingga didapat pembebanan maksimum, kemudian membaca arloji kelelahannya pada saat arloji pembebanan berhenti.
15. Mengeluarkan benda uji dari alat uji, kemudian dapat dilakukan proses perhitungan selanjutnya.

4.7 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* bertujuan untuk mengetahui nilai durabilitas pada campuran. Berikut merupakan urutan pengujian *IRS* sebagai berikut:

1. Merendam benda uji ke dalam air dengan durasi 24 jam pada suhu ruang agar benda uji dalam keadaan jenuh air.
2. Menimbang benda uji di dalam air.
3. Mengeringkan atau mengelap permukaan benda uji hingga kering permukaan jenuh *(SSD),* kemudian menimbang benda uji.

4. Merendam benda uji ke dalam bak perendam selama 24 jam dengan suhu ±60℃.
5. Melakukan pengujian *Marshall.*

4.8 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengujian *ITS* bertujuan untuk mengetahui kuat tarik dari suatu campuran perkerasan. Adapun urutan pengujian *ITS* adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan uji,
2. Mengukur diameter dan tinggi benda uji.
3. Meletakkan benda uji ke dalam alat uji untyuk dilakukan pengujian pembebanan
4. Memasang arloji pengukur stabilitas dan kelelehan dengan ketelitian 0,25mm
5. Menyalakan mesin dan menghentikannya ketika pembacaan dial berjalan berlawanan dengan arah jarum jam.
6. Mencatat nilai yang didapat kemudian menganalisis hasil dari pengujian *ITS* dan membuat kesimpulan dari pengujian tersebut

4.9 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Pengujian *TSR* bertujuan untuk mengetahui nilai indeks kuat tarik tidak langsung. Berikut merupakan Langkah Langkah dalam pengujian *TSR*

1. Menyiapkan bahan uji,
2. Mengukur diameter dan tinggi benda uji.
3. Merendam benda uji ke dalam bak perendam selama 24 jam dengan suhu $(60℃ \pm 1)℃$
4. Setelah dilakukan perendaman, benda uji didiamkan selama $\pm 24\ jam$ dalam suhu ruang 25℃
5. Menyalakan mesin dan menghentikannya ketika pembacaan dial berjalan berlawanan dengan arah jarum jam.
6. Mencatat nilai yang didapat kemudian menganalisis hasil dari pengujian *ITS* dan membuat kesimpulan dari pengujian tersebut.

4.10 Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *CL* bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap disintegrasi. Berikut merupakan urutan pengujian *CL* sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan uji
2. Memasukkan benda uji ke dalam mesin *Loss Angeles* tanpa bola baja
3. Mengeluarkan benda uji dan menimbang benda uji kemudian dilakukan analisis dan pembahasan dari hasil yang telah didapat.

4.11 Pengujian *Draindown*

Pengujian *Draindown* bertujuan untuk mengetahui

1. Menyiapkan 2 untit *oven, oven* pertama diatur hingga suhu berkisar sesuai dengan temperatur produksi dan *oven* kedua diatur hingga kisaran suhu 15℃ lebih tinggi dari temperatur produksi masing masing variasi benda uji dari hasil *viskositas.*
2. Masing masing wadah dan alas alumunium ditimbang
3. Memasukkan benda uji kedalam wadah dalam keadaan *loose* atau belum dipadatkan kemudian ditimbang.
4. Memasukkan benda uji kedalam *oven* yang sudah diukur temperaturnya dan ditunggu sekitar 60±5 menit, namun apabila benda uji saat akan dimasukkan kedalam oven sudah menurun lebih rendah daripada 25℃ di bawah temperatur pengujian, maka waktu untuk benda uji di dalam *oven* ditambah selama 70±5 menit

4.12 Analisis Statistik

Data hasil pengujian karakteristik seperti *marshall standard, IRS, ITS, TSR, CL* dan *Draindown* dengan parameter agregat halus pasir Pantai Pandansimo terhadap karakteristik campuran *SMA* dianalisis menggunakan metode analisis statistik *ANOVA* satu arah dengan program *IBM SPSS Statistics 24*. Metode ini dipilih karena terdapat satu variabel bebas, yaitu pasir Pantai Pandansimo, yang dikelompokkan menjadi beberapa variasi agregat halus pengganti pasir Pantai.

Secara umum, analisis statistik menggunakan *ANOVA* satu arah dilakukan sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor variable. Berikut rumusan hipotesis dapat dilihat pada persamaan 4.2 dan 4.3.

   $H0 : \mu1 = \mu2 = \ldots\ldots = \mu k$ (4.2)

   $H1 : \mu1 \neq \mu2 = \ldots\ldots \neq \mu k$ (4.3)

2. Mengumpulkan data

   Buatlah *Variable View* sesuai dengan data yang akan diuji dan upload data data yang telah didapat ke *Data View*.

3. Uji normalitas

   Pada uji normalitas data harus terdistribusi normal karena uji normalitas data merupakan syarat wajib yang harus terpenuhi. langkah-langkah uji normalitas sebagai berikut :

   a. Pilih menu *Analyze*, setelah itu pilih *Descriptive Statistics* dan *Explore*
   b. Masukan *Factor List* dan *Dependent List*
   c. Pilih *normality plot with test* pada *opsi Plots*
   d. Setelah dilakukan tahapan berikut, pilih *continue* dan data hasil uji normalitas akan muncul. Data normalitas memiliki syarat Nilai Sig: (P value) < 0,05 berkesimpulan data tidak terdistribusi secara normal. Nilai Sig. (P *value*) > 0,05 ber kesimpulan data terdistribusi secara normal.

4. Uji homogen

   a. Pilih menu *Analyze*, setelah itu pilih *Compare Means* dan *One Way ANOVA*
   b. Masukan *Factor List* dan *Dependent List*
   c. Pilih *Options* dan *Homogeneity of variance test*
   d. Lalu pilih *Continue*
   e. Setelah dilakukan tahapan berikut, pilih *continue* dan data hasil uji normalitas akan muncul. Data normalitas memiliki syarat Nilai Sig:

(P value) < 0,05 berkesimpulan data tidak homogen. Nilai Sig. (P value) > 0,05 ber kesimpulan data homogen.

5. *ANOVA* satu arah
   a. Pilih menu *Analyze*, setelah itu pilih *Compare Means* dan *One Way ANOVA*
   b. Masukan *Factor List* dan *Dependent List*
   c. Lalu pilih *Continue*
   d. Setelah data *ANOVA* diperoleh, bandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel. Apabila nilai F-hitung > F-tabel,maka H0 ditolak dan H1 diterima. nilai F-hitung < F-tabel : maka H0 diterima dan H1 ditolak
   e. Menentukan nilai α atau signikan biasanya digunakan 0,05.
      Jika nilai signifikan atau P-*Value* > 0,05: maka H0 ditolak dan H1 diterima. Jika nilai signifikan atau P- Value < 0,05: maka H0 diterima dan H1 ditolak
   f. Kesimpulan keputusan H0 dan H1
      H0 = Tidak terdapat perbedaan signifikan dalam pengaruh pasir Pantai Pandansimo terhadap karakteristik campuran *SMA*
      H1 = Terdapat perbedaan signifikan dalam pengaruh pasir Pantai Pandansimo terhadap karakteristik campuran *SMA*

4.13 Analisis Data

Data yang telah didapat kemudian dilakukan analisis data, Adapun analisis data yang akan dilakukan setelah melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Analisis Karakteristik *Marshall*

   Pada pengujian *Marshall* didapatkan data sebagai berikut;

   a. Berat benda uji kering *(bulk)* (gram)
   b. Berat benda uji di dalam air (gram)
   c. Berat benda uji dalam keadaan jenuh *(SSD)* (gram)
   d. Tinggi benda uji
   e. Pembacaan dial stabilitas (kg)

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

Nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung menggunakan rumus rumus pada persamaan 4.1, 4.2, dan 4.3 berikut:

a. Berat jenis aspal

$$\text{BJ aspal} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.1)$$

Keterangan :

A = Berat piknometer dengan penutup (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = Berat Piknometer berisi aspal (gram)

D = Berat Piknometer berisi aspal dan air (gram)

b. Berat Jenis Agregat

$$\text{BJ Agegat} = \frac{(A \text{ X } F1)+(B \text{ X } F2)}{100} \quad (4.2)$$

Keterangan :

F1 = Persentase agregat kasar

F2 = Persentase agregat halus

A = Berat Jenis agregat kasar

B = Berat jenis agregat halus

c. Berat Jenis *Filler*

$$\text{BJ } \textit{Filler} = \frac{Bk}{B+200-Bt} \quad (4.3)$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat Piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

200 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan (gram)

d. Kelelehan *(flow),* dibaca dari pembacaan arloji

e. *VITM* menggunakan persamaan 3.2 dan 3.3

f. *VMA* menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5

g. *VFWA* menggunakan persamaan 3.6

h. *Density* menggunakan persamaan 3.7 dan 3.8

i. *MQ* menggunakan persamaan 3.9

2. Analisis uji *IRS*

   Nilai *IRS* dapat dihitung dengan persamaan 3.10

3. Analisis uji *ITS*

   Nilai *ITS* dapat dihitung dengan persamaan 3.11

4. Analisis Uji *TSR*

   Nilai uji *TSR* dapat dihitung dengan persamaan 3.12

5. Analisis uji *CL*

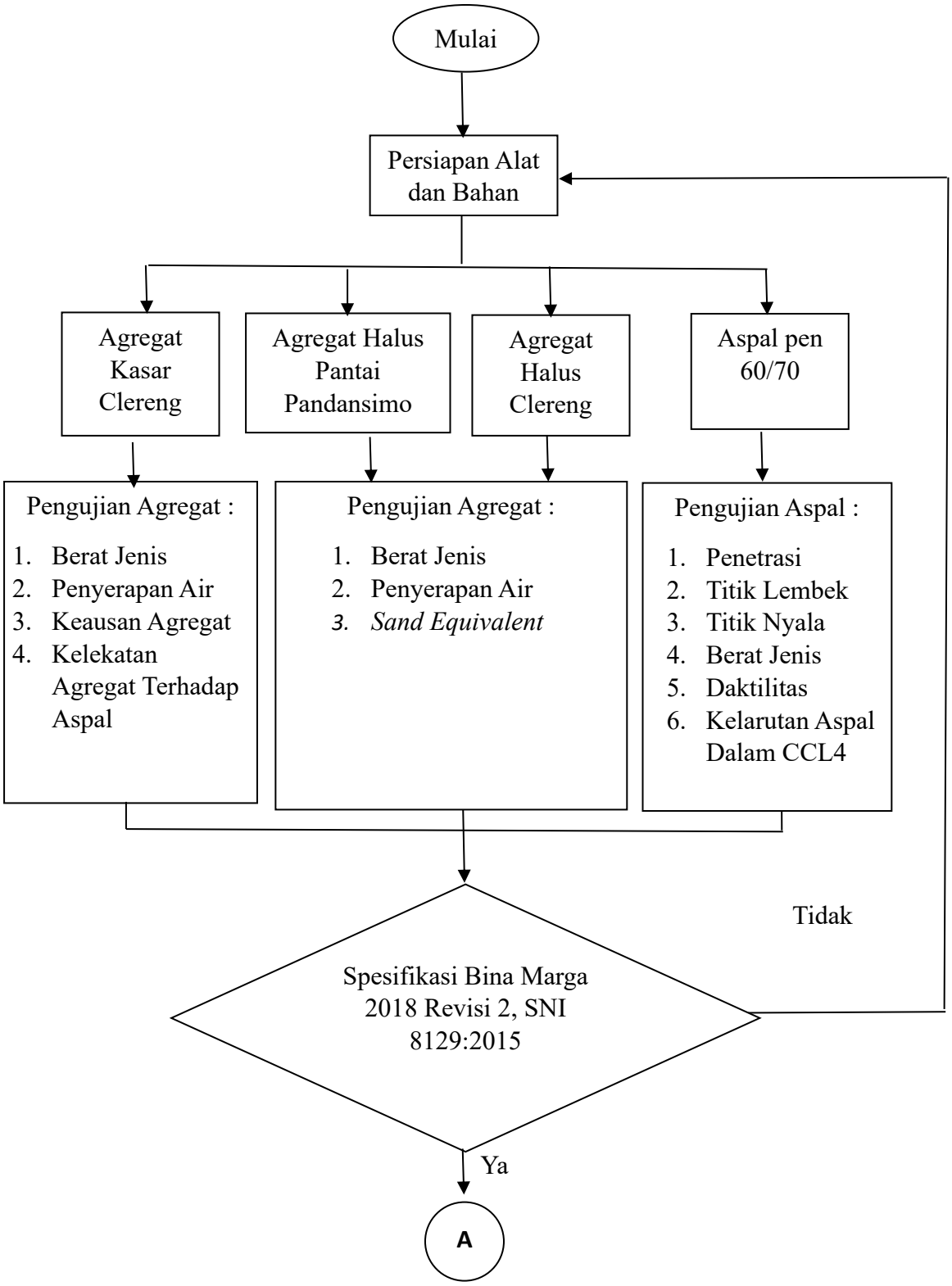
   Nilai uji *CL* dapat dihitung dengan persamaan 3.13

6. Analisis uji *Draindown*

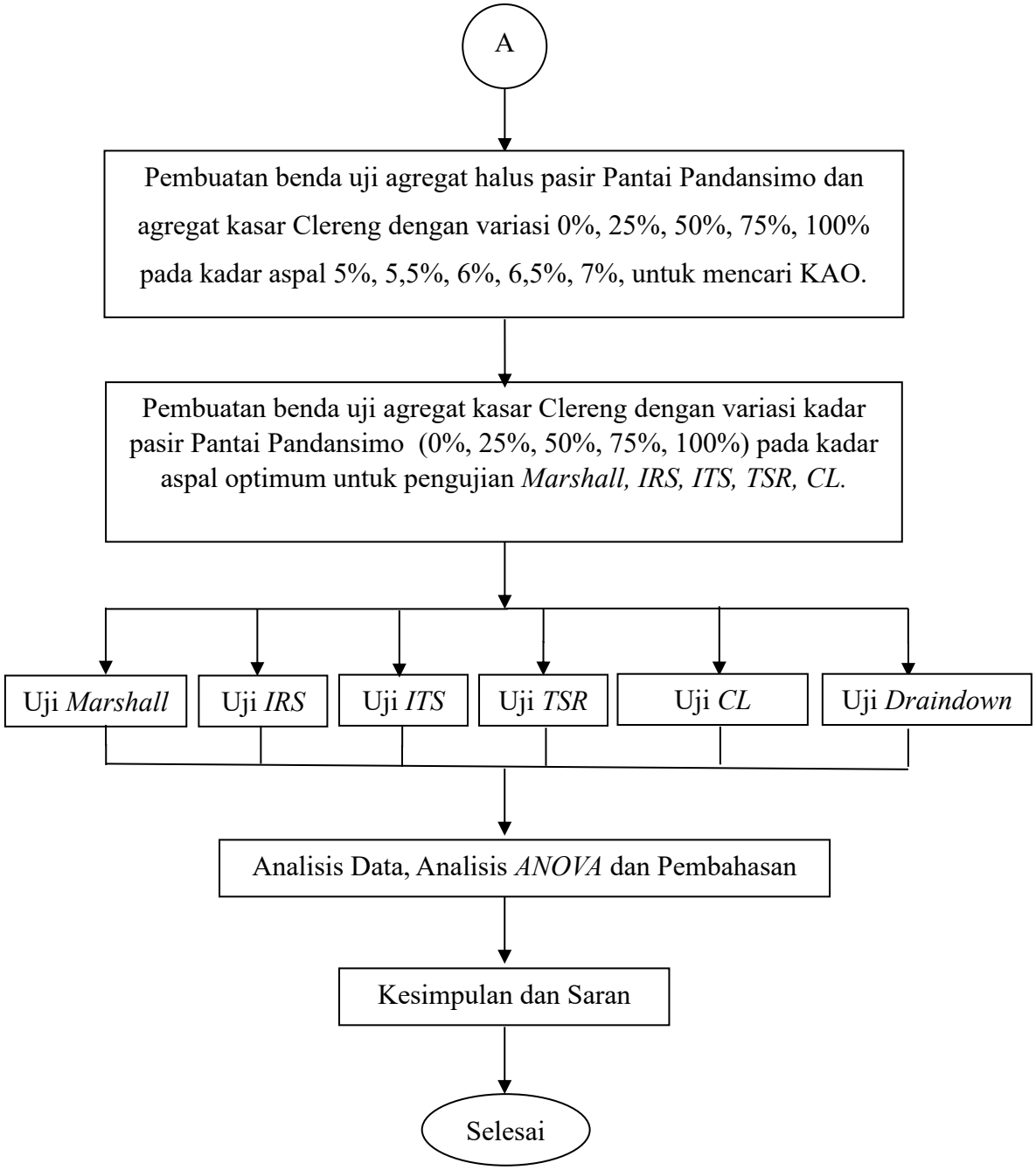
   Nilai uji *CL* dapat dihitung dengan persamaan 3.14

4.14 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.5 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.5 Diagram Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran

Berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan, semua pengujian dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dan didapatkan hasil pada setiap pengujian yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini menggunakan aspal jenis Pertamina Pen 60/70. Hasil data pengujian yang didapat dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	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 Nyala (ºC)	≥ 232	317,5	Memenuhi
6	Titik Lembek (ºC)	≥ 48	48,5	Memenuhi
5	Titik Bakar (ºC)	≥ 232	320	Memenuhi
6	Kelarutan *TCE* (%)	≥ 99	99,32	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat terdiri dari beberapa pengujian, yaitu pengujian agregat kasar, agregat halus dan *filler.* Kemudian dilanjutkan pengujian agregat halus dari pasir Pantai Pandansimo. Adapun data yang didapat pada pengujian karakteristik agregat dan *filler* sudah memenuhi spesifikasi yang

disyaratkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2. Rekapitulasi hasil pengujian yang didapat dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar Clereng

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

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,57	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,79	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50	92,84	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,55	Memenuhi

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,98	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	0,72	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50	100	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *SMA* pada Kadar Aspal Optimum

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk menentukan kadar aspal optimum yang diperoleh dari karakteristik *Marshall* yaitu nilai Stabilitas*, Flow, VITM, VFWA, VMA, MQ*, dan

Density. Adapun pembahasan hasil pengujian dibuat setiap setiap variasi subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai 5.10

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 0%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	632,42	688,19	738,45	720,57	696,00	> 600
Flow (mm)	2,48	2,54	2,57	2,60	2,69	2-4,5
MQ (Kg/mm)	254,42	272,70	288,735	276,65	244,77	> 200
VITM (%)	7,26	6,44	5,55	4,73	3,74	> 3,0-5
VFWA (%)	59,41	64,60	69,77	74,64	80,05	>76-82
VMA (%)	17,87	18,13	18,35	18,62	18,76	>17
Density (%)	2,23	2,24	2,24	2,26	2,25	

abel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 25%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	677,17	748,10	762,13	732,57	705,82	> 600
Flow (mm)	2,43	2,52	2,54	2,58	2,64	2-4,5
MQ (Kg/mm)	279,16	296,28	300,61	2853	269,05	> 200
VITM (%)	7,07	6,35	5,20	4,37	3,54	> 3,0-5
VFWA (%)	60,19	64,96	71,28	76,21	81,01	>76-82
VMA (%)	17,75	18,11	18,10	18,38	18,65	>17
Density (%)	2,245	2,25	2,26	2,26	2,27	

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 50%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	673,12	764,75	791,20	748,54	727,20	> 600

Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 50%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Flow (mm)	2,37	2,47	2,48	2,54	2,62	2-4,5
MQ (Kg/mm)	290,62	309,71	320,13	2989	278,98	> 200
VITM (%)	6,75	5,69	4,46	4,01	3,36	> 3,0-5
VFWA (%)	60,99	66,01	72,07	77,39	81,32	>76-82
VMA (%)	17,63	17,95	182	18,23	18,67	>17
Density (%)	2,26	2,26	2,27	2,29	2,28	

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 75%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	707,20	783,46	827,61	775,18	754,55	> 600
Flow (mm)	2,35	2,44	2,46	2,51	2,59	2-4,5
MQ (Kg/mm)	302,52	322,41	336,93	309,94	292,06	> 200
VITM (%)	6,75	5,69	4,62	4,01	3,36	> 3,0-5
VFWA (%)	61,58	67,74	73,92	77,98	81,97	>76-82
VMA (%)	17,56	17,64	17,71	18,19	18,63	>17
Density (%)	2,273	2,28	2,29	2.29	2.29	

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 100%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	762,28	811,67	856,14	798,60	7781	> 600
Flow (mm)	2,33	2,40	2,43	2,47	2,52	2-4,5
MQ (Kg/mm)	3281	342,68	353,31	325,83	309,01	> 200
VITM (%)	6,63	5,27	4,42	3,89	3,15	> 3,0-5
VFWA (%)	62,14	68,84	75,15	78,92	83,01	>76-82

Lanjutan Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo 100%

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
VMA (%)	17,56	17,48	17,60	18,15	18,51	>17
Density (%)	2,286	2,30	2,31	2,31	2,31	> 2

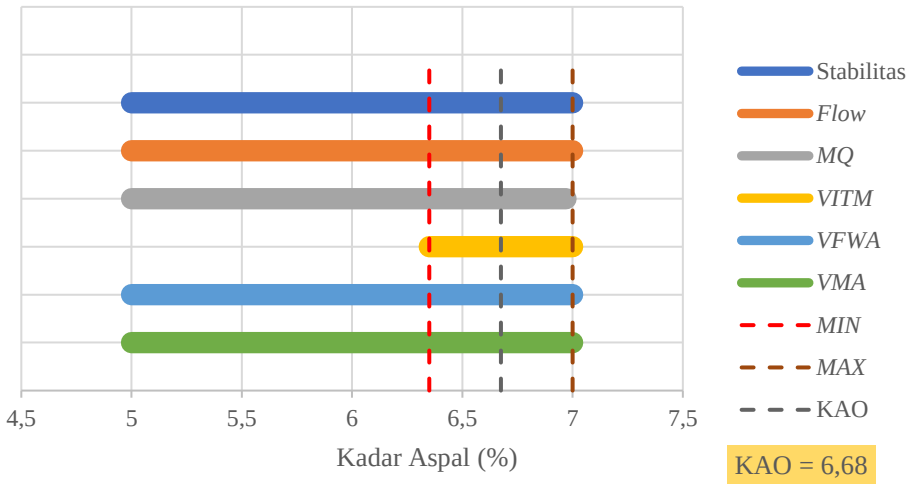
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari Kadar KAO

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi pen 60/70				
		Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)				
		0	25	50	75	100
Stabilitas (kg)	5	632,42	677,17	673,12	707,20	762,28
	5,5	688,19	748,10	764,75	783,46	811,67
	6	738,45	762,13	791,20	827,61	856,14
	6,5	720,57	732,57	748,54	775,18	798,60
	7	659,00	705,82	727,20	754,55	7781
Flow (mm)	5	2,48	2,43	2,37	2,35	2,33
	5,5	2,54	2,52	2,47	2,44	2,40
	6	2,577	2,54	2,48	2,46	2,43
	6,5	2,60	2,58	2,54	2,51	2,47
	7	2,69	2,64	2,62	2,59	2,52
MQ (kg/mm)	5	254,42	279,16	290,62	302,52	3281
	5,5	272,70	296,28	309,71	322,41	342,68
	6	288,735	300,61	320,13	336,93	353,31
	6,5	276,65	2853	2989	309,94	325,83
	7	244,77	269,05	278,98	292,06	309,01
VITM (%)	5	7,26	7,07	6,88	6,75	6,63
	5,5	6,44	6,35	6,10	5,69	5,27
	6	5,55	5,20	4,72	4,46	4,42
	6,5	4,73	4,37	4,13	4,01	3,89

Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Mencari Kadar KAO

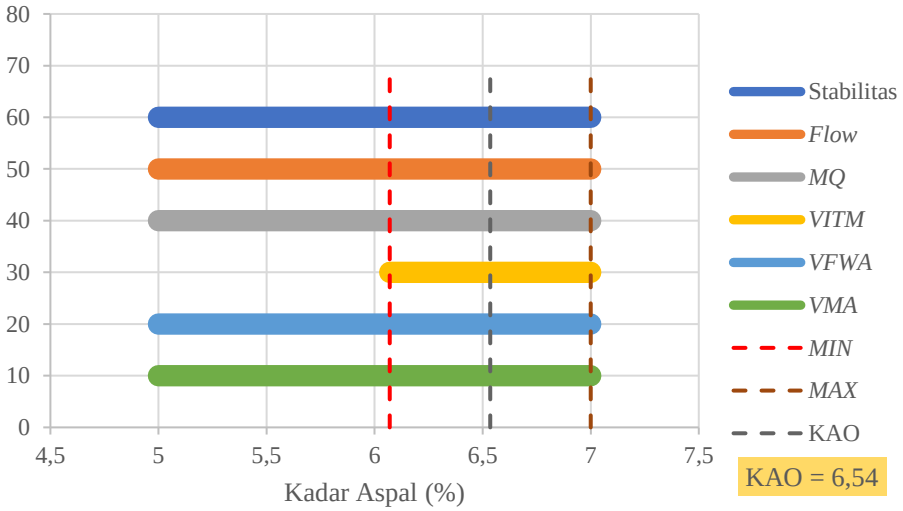
Pengujian	**Kadar Aspal (%)**	**Aspal Penetrasi pen 60/70**				
		Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)				
		0	**25**	**50**	**75**	**100**
	7	3,74	3,54	3,49	3,36	3,15
VFWA (%)	5	59,41	60,19	60,99	61,58	62,14
	5,5	64,60	64,96	66,01	67,74	68,84
	6	69,77	71,28	72,07	73,92	75,15
	6,5	74,64	76,21	77,39	77,98	78,92
	7	80,05	81,01	81,32	81,97	83,01
VMA (%)	5	17,87	17,75	17,63	17,56	17,56
	5,5	18,13	18,11	17,95	17,64	17,48
	6	18,35	18,10	182	17,71	17,60
	6,5	18,62	18,38	18,23	18,19	18,15
	7	18,76	18,65	18,67	18,63	18,51
Density (%)	5	2,231	2,245	2,26	2,273	2,286
	5,5	2,24	2,25	2,26	2,28	2,30
	6	2,24	2,26	2,27	2,29	2,31
	6,5	2,26	2,26	2,29	2.29	2,31
	7	2,25	2,27	2,28	2.29	2,31

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia didapatkan nilai kadar aspal optimum campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus dengan dilakukan perhitungan secara grafis, diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.5 berikut.



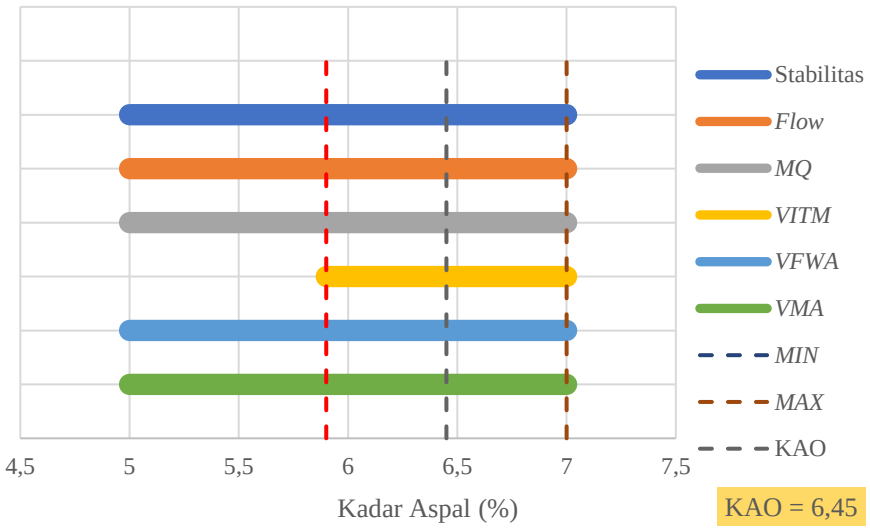
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 0%

Berdasarkan pada Gambar 5.1 pada variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo 0% didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,68%



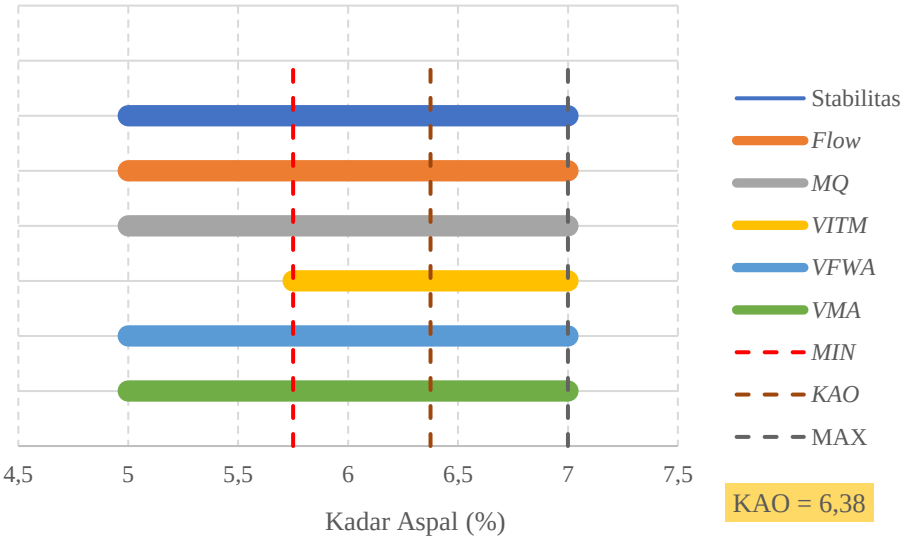
Gambar 5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 25%

Berdasarkan pada Gambar 5.2 pada variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo 25% didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,54%



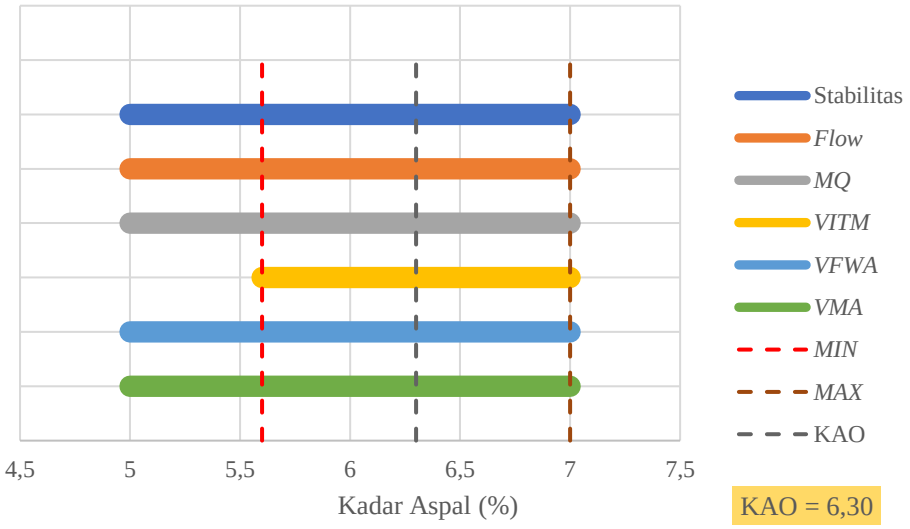
Gambar 5.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 50%

Berdasarkan pada Gambar 5.3 pada variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo 50% didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,45%



Gambar 5.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 75%

Berdasarkan pada Gambar 5.4 pada variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo 75% didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,38%



Gambar 5.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo 100%

Berdasarkan pada Gambar 5.5 pada variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo 100% didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,30%.

Berdasarkan Gambar 5.1 sampai Gambar 5.5, dapat disimpulkan bahwa semakin besar proporsi subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo akan semakin kecil kadar aspal yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan oleh berat jenis pasir Pantai Pandansimo dengan nilai 2,98 dimana lebih besar daripada berat jenis agregat halus Clereng dengan nilai 2,67. Penyerapan air agregat halus pasir Pantai Pandansimo lebih kecil daripada penyerapan agregat halus Clereng yang mengakibatkan kebutuhan kadar aspal akan menurun seiring dengan penambahan persentase agregat halus Pasir Pantai Pandansimo.

5.1.4 Kebutuhan Material Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Kebutuhan Kadar Aspal Optimum pada masing masing proporsi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.12 sampai Tabel 5.16

Tabel 5.12 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 0% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,68%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
3/4	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1/2	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	55,99	55,99	55,99	0
3/8	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	335,95	391,94	335,95	0
# 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	419,94	811,88	419,94	0
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	83,99	895,87	83,99	0
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,58	1013,46	117,58	0
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,38	1119,84	106,38	0
Jumlah						1119,84		1119,84	

Tabel 5.13 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 25% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,54%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
3/4	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,08	56,08	56,08	0,00
3/8	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,46	392,53	336,46	0,00
# 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,57	813,10	420,57	0,00
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,11	897,22	63,09	21,03
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,76	1014,98	88,32	29,44
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,54	1121,52	79,91	26,64
Jumlah						1121,52		1044,42	77,10

Tabel 5.14 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 50% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,45%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
3/4	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,13	56,13	56,13	0,00
3/8	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	336,78	392,91	336,78	0,00
# 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	420,98	813,89	420,98	0,00
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,20	898,08	42,10	42,10
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,87	1015,95	58,94	58,94
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,65	1122,60	53,32	53,32
Jumlah						1122,60		968,24	154,36

Tabel 5.15 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 75% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,38%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
3/4	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,17	56,17	56,17	0,00
3/8	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	337,03	393,20	337,03	0,00
# 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	421,29	814,49	421,29	0,00
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,26	898,75	21,06	63,19
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,96	1016,71	29,49	88,47
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,73	1123,44	26,68	80,05
Jumlah						1123,44		891,73	231,71

Tabel 5.16 Jumlah Kebutuhan Agregat Subtitusi 100% Pasir Pantai Pandansimo Kadar Aspal Optimum 6,30%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gram)		Variasi	
ASTM	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	Pasir Clereng	Pasir Pantai
3/4	19	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5	90,00	100,00	95,00	5,00	56,22	56,22	56,22	0,00
3/8	9,5	50,00	80,00	65,00	30,00	337,32	393,54	337,32	0,00
# 4	4,75	20,00	35,00	27,50	37,50	421,65	815,19	421,65	0,00
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	7,50	84,33	899,52	0,00	84,33
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,06	1017,58	0,00	118,06
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,82	1124,40	0,00	106,82
Jumlah						1124,40		815,19	309,21

Pada tabel 5.13 sampai Tabel 5.16 didapatkan kebutuhan total agregat setiap variasi subtitusi agregat halus pada campuran berdasarkan berat total campuran yang dikurangi dengan berat total aspal yang dibutuhkan.

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* pada Kadar Aspal Optimum dengan subtitusi Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Agregat Halus

Hasil Pengujian campuran *SMA* pada Kadar Aspal Optimum dengan subtitusi pasir Pantai Pandansimo sebagai pengganti agregat halus dengan uji *Marshall,* uji *IRS,* uji *ITS,* uji *TSR,* uji *CL*, dan *Draindown* dapat dilihat pada Tabel 5.18 sampai Tabel 5.23 berikut.

1. Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *Marshall.*

   Hasil Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap variasi subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	757,46	781,03	843,20	901,49	964,03	> 600
Flow (mm)	3,01	2,82	2,68	2,57	2,44	2-4,5
MQ (Kg/mm)	249,97	279,88	347,73	374,48	398,60	>200
VITM (%)	4,52	4,20	3,93	3,48	3,22	> 3,0-5
VFWA (%)	76,21	77,50	78,65	80,61	81,75	>76
VMA (%)	19,01	18,68	18,42	17,93	17,66	>17
Density (%)	2,24	2,26	2,27	2,30	2,32	

Dari Tabel 5.17 dapat diketahui bahwa nilai pengujian *Marshall* telah memenuhi semua spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2

2. Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *IRS*

   Hasil Pengujian *IRS* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap variasi subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo

Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)	Stabilitas 0,5 jam	Stabilitas 24 jam	Nilai *IRS (%)*
0	757,46	683,50	90,24%
25	781,03	720,97	92,31%
50	843,20	786,10	93,22%
75	901,49	857,26	959%
100	964,03	931,83	96,66%

Dari Tabel 5.18 didapatkan hasil bahwa nilai IRS mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat halus pasir pantai dan sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan minimal nilai 90%.

3. Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *ITS* Hasil Pengujian *ITS* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap variasi subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengujian *ITS* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo

Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)	*ITS* (Kpa)
0	709,63
25	754,67
50	831,36
75	874,62
100	918,34

Dari Tabel 5.19 dapat diketahui bahwa nilai pengujian *ITS,* dimana seiring penambahan variasi subtitusi Pasir Pantai Pandansimo terjadi kenaikan nilai.

4. Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *TSR* Hasil Pengujian *TSR* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap variasi subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo

Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)	*ITS* (Kpa)	*TSR* (Kpa)	*TSR* (%)
0	709,626	642,568	90,55
25	754,668	696,146	92,24
50	831,364	772,463	92,91
75	874,622	821,431	93,92
100	918,342	870,194	94,75

Dari Tabel 5.20 diketahui bahwa nilai TSR telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

5. Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *CL*
   Hasil pengujian *CL* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap variasi subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian *CL* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo

Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)	Kehilangan Berat (%)
0	7,41
25	7,31
50	5,76
75	3,47
100	2,95

Dapat dilihat pada Tabel 5.21 dapat diketahui bahwa setiap penambahan variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo mengalami penurunan persentase kehilangan berat pada campuran.

6. Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi Agregat Halus pada Pengujian *Draindown*
   Hasil Pengujian *Draindown* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap variasi subtitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian *Draindown* pada Kadar Aspal Optimum pada Setiap Variasi Subtitusi Pasir Pantai Pandansimo

Variasi Subtitusi Pasir Pantai (%)	*Draindown* (%)
0	0,09
25	0,073
50	0,070
75	0,048
100	0,042

Dapat dilihat pada Tabel 5.22 dimana hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan Bina Marga 2018 yaitu kurang dari 0,3%.

Data-data karakteristik *Marshall, IRS, ITS, TSR, CL* dan *Draindown* dengan variasi subtitusi agregat halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap karakteristik campuran *SMA* dianalisis menggunakan analisis statistik Anova satu arah. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan Anova satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 berikut ini

Tabel 5.23 Rekapitulasi Data Uji Statistik *ANOVA* Pada Pengujian *Marshall*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas (kg)	H_0 diterima	Tidak signifikan
Flow (mm)	H_0 diterima	Tidak signifikan
MQ (Kg/mm)	H_0 diterima	Tidak signifikan
VITM (%)	H_1 diterima	Signifikan
VFWA (%)	H_1 diterima	Signifikan
VMA (%)	H_1 diterima	Signifikan
Density (%)	H_1 diterima	Signifikan

Tabel 5.24 Rekapitulasi Data Uji Statistik *ANOVA* Pada Pengujian *ITS, IRS, TSR*, *Cantabro*, dan *Draindown*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
ITS	H_1 diterima	Signifikan
IRS	H_0 diterima	Tidak signifikan
TSR	H_0 diterima	Tidak signifikan
Cantabro	H_0 diterima	Tidak signifikan
Draindown	H_0 diterima	Tidak signifikan

Keterangan :

H_0 Diterima : Tidak terdapat pengaruh signifikan pada penggunaan Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat halus campuran *SMA*.

H_1 Diterima : Terdapat pengaruh signifikan pada penggunaan Pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat halus campuran *SMA*.

5.2 Pembahasan

Pembahasan dilakukan untuk memastikan bahwa bahan material yang digunakan dalam pengujian sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan yaitu spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Berikut merupakan pembahasan dari semua pengujian yang telah dilakukan.

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang berasal dari Clereng, Kulon Progo. Berikut merupakan karakteristik dari agregat kasar tersebut.

1. Pengujian Berat Jenis Agregat

   Berat jenis agregat merupakan perbandingan antara berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada suhu yang sama. Nilai berat jenis agregat kasar berguna untuk penentuan perencanaan campuran, karena material agregat dengan berat jenis lebih tinggi memiliki pori lebih kecil, sehingga kebutuhan aspal lebih sedikit, dan sebaliknya apabila berat jenis rendah memiliki pori lebih besar sehingga kebutuhan aspal semakin banyak. Hasil pengujian agregat kasar didapat sebesar 2,56 dimana hasil dari pengujian ini telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq$ 2,5.

2. Pengujian Penyerapan Air Oleh Agregat

   Penyerapan terhadap air merupakan kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui pori-pori yang ada pada agregat. Dimana agregat yang memiliki pori yang kecil menyebabkan kebutuhan aspal yang lebih sedikit, karena nilai penyerapan pada agregat tersebut semakin kecil. Hasil pengujian didapatkan nilai sebesar 1,98. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\leq$ 2.

3. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

   Tujuan pengujian kelekatan agregat terhadap aspal adalah menentukan persentase luas permukaan agregat yang terselimuti aspal terhadap

permukaan agregat. Hasil pengujian didapatkan nilai sebesar 98. Dimana hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 95.

4. Pengujian Keausan dengan Mesin *Loss Angeless*

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap penghancuran (degradasi). Hasil dari pengujian ini didapatkan nilai sebesar 19,32. Hasil pengujian tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu ≤ 40.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Tujuan dari pengujian karakteristik agregat halus adalah mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat halus. Agregat halus yang digunakan pada pengujian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo dan Pasir Pantai Pandansimo yang digunakan dalam subtitusi agregat halus, berikut karakteristik agregat halus.

1. Pengujian Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat didapatkan dari perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air pada volume yang sama. Hasil pengujian berat jenis agregat halus didapatkan berat jenis Clereng sebesar 2,57 dan berat jenis Pasir Pantai Pandansimo sebesar 2,98. Dimana pengujian tersebut telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 2,5. Dalam menentukan berat volume diperlukan pengujian berat jenis pada masing masing agregat, hal tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan volume antara masing-masing agregat sehingga dapat menentukan volume yang sama karena berat jenis agregat halus Clereng lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis Pasir Pantai Pandansimo.

2. Pengujian Penyerapan Air Oleh Agregat

Penyerapan air terhadap agregat adalah kemampuan bahan dalam menyerap air yang masuk melalui pori-pori yang ada pada agregat. Agregat yang memiliki pori atau rongga yang kecil maka menyebabkan kebutuhan aspal yang semakin sedikit pula karena nilai penyerapannya semakin kecil. Hasil

pengujian penyerapan air oleh agregat halus Clereng didapatkan sebesar 1,79% sedangkan penyerapan air oleh agregat halus Pasir Pantai Pandansimo sebesar 0,72%, maka nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar ≤ 2%.

3. Pengujian *Sand Equivalent*

Pengujian *Sand Equivalent* bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap potensi adanya lumpur, debu atau kotoran lainnya yang masih menempel pada agregat. Agregat halus yang digunakan harus bersih dari kotoran-kotoran yang akan mempengaruhi kemampuan aspal untuk melekat pada campuran. Hasil pengujian *Sand Equivalent* agregat halus Clereng didapatkan sebesar 92,84% dan pada Pasir Pantai Pandansimo sebesar 100%. Nilai tersebut telah memenuhi standar dan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar ≥ 50.

5.2.3 Karakteristik Bahan Pengisi *(Filler)*

Bahan pengisi *(Filler)* adalah material berupa agregat halus yang lolos pada saringan No.200. Hasil dari pengujian berat jenis bahan pengisi *(Filler)* sebesar 2,55. Dimana hasil pengujian tersebut sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 2,5.

5.2.4 Karakteristik Aspal

1. Pengujian Berat Jenis Aspal

Nilai berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama dengan temperatur tertentu. Pada pengujian ini didapatkan hasil berat jenis aspal sebesar 1,05. Hasil tersebut telah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

2. Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk menentukan nilai penetrasi pada aspal sehingga dapat diketahui mutu dan tingkat kekerasan aspal. Hasil pengujian penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 sebesar 66,3 dimana nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan yaitu Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar 60-70 mm.

3. Pengujian Daktilitas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keelastisitasan aspal dan sifat kohesi pada aspal. Hasil pengujian daktilitas didapatkan sebesar 164 cm. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu 100 cm.

4. Pengujian Titik Lembek

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur, pada pengujian ini didapatkan nilai sebesar 48,5 ºC. Nilai tersebut telah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar ≥ 48

5. Pengujian Titik Nyala

Pengujian Titik Nyala bertujuan untuk mengetahui pada suhu berapa aspal mulai menyala dan aspal mulai memercikkan api. Hasil pengujian Titik Nyala didapatkan titik nyala pada aspal sebesar 317,5 ºC. Hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar ≥ 232 ºC.

6. Pengujian Titik Bakar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui batas temperature dimana aspal menimbulkan api. Pada pengujian titik bakar didapatkan nilai 320 ºC. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 232ºC.

7. Pengujian Kelarutan dalam *TCE (Trichloroethylene)*

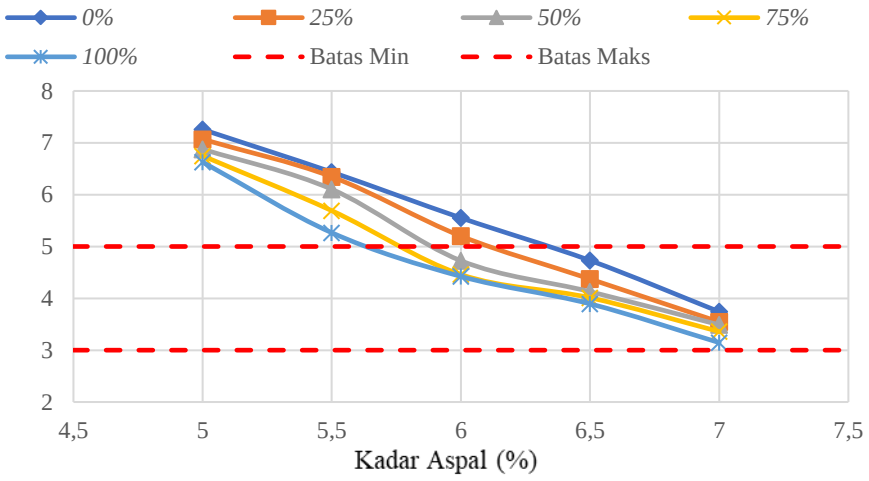
Pengujian Kelarutan dalam *TCE* dimaksudkan untuk melihat aspal yang digunakan mengandung bahan/mineral lain selain aspal atau tidak. Semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan bahan lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina pen 60/70 sebesar 99,32% dan sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar ≥ 99 %.

5.2.5 Karakteristik *Marshall* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum

1. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VITM*

VITM merupakan persentase rongga udara yang ada pada campuran agregat aspal yang telah dipadatkan. Nilai *VITM* yang semakin tinggi menunjukkan

semakin besarnya rongga udara pada suatu campuran yang mengakibatkan campuran bersifat *porous* yang berakibat pada campuran akan mudah mengalami oksidasi dan deformasi plastis, sebaliknya apabila nilai *VITM* kecil maka dapat mengakibatkan terjadinya *bleeding*. Adapun Nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



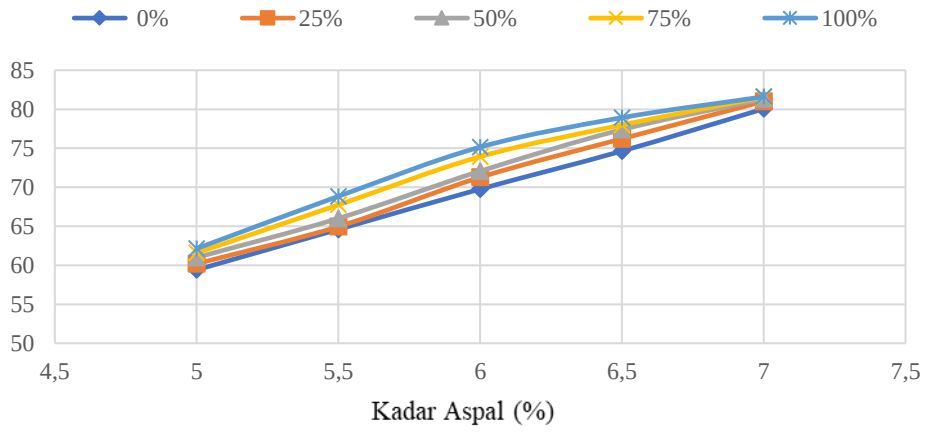
Gambar 5.6 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 diperoleh hasil bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah kadar aspal 5% sampai 7% pada campuran. Hal ini disebabkan karena seiring bertambahnya kadar aspal maka akan semakin terisi rongga atau *void* yang terdapat pada campuran aspal yang menyebabkan campuran memiliki rongga udara yang semakin sedikit dan lebih kedap air. Pada kadar aspal 5%, 5,5% dan pada subtitusi pasir Pantai 0% hingga 25% pada kadar aspal 6% belum memenuhi spesifikasi yang ditentukkan. Hal ini dikarenakan kadar aspal tersebut belum mampu untuk menyelimuti agregat dengan baik sehingga campuran masih terdapat cukup banyak rongga yang belum terisi. Sedangkan pada kadar aspal 6% pada subtitusi pasir Pantai 50% sampai 100% dan kadar aspal 6,5% hingga 7% telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan Bina Marga Revisi 2 yaitu 3%-5%, hal ini karena aspal yang tersedia sudah mampu menyelimuti agregat dengan baik dan mengisi *void* yang ada dalam

campuran. Pada subtitusi 0% sampai 100% nilai *VITM* mengalami penurunan, hal ini dikarenakan oleh berat jenis agregat halus pasir Pantai Pandansimo yang lebih tinggi yang mengakibatkan volume pasir Pantai semakin sedikit daripada pasir Clereng pada berat yang sama. Penyerapan air pada pasir pantai juga lebih kecil sehingga aspal tidak terlalu banyak terserap oleh agregat. Sehingga seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo mampu meningkatkan kepadatan dan kerapatan pada campuran yang menyebabkan nilai rongga dalam campuran semakin menurun. Hasil pengujian *VITM* pada berbagai variasi KAO tidak semuanya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu berkisar antara 3-5%.

2. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VFWA*

VFWA adalah persentase rongga atau void yang dapat terisi oleh aspal setelah dilakukan pemadatan. Nilai *VFWA* yang semakin tinggi menunjukkan bahwa campuran semakin kedap air dan udara yang disebabkan oleh selimut aspal yang tebal, namun apabila nilai *VFWA* terlalu tinggi dapat menyebabkan suatu campuran mengalami *bleeding*, sebaliknya apabila *VFWA* terlalu rendah dapat menyebabkan suatu campuran menjadi *porous*. Adapun hasil dari nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

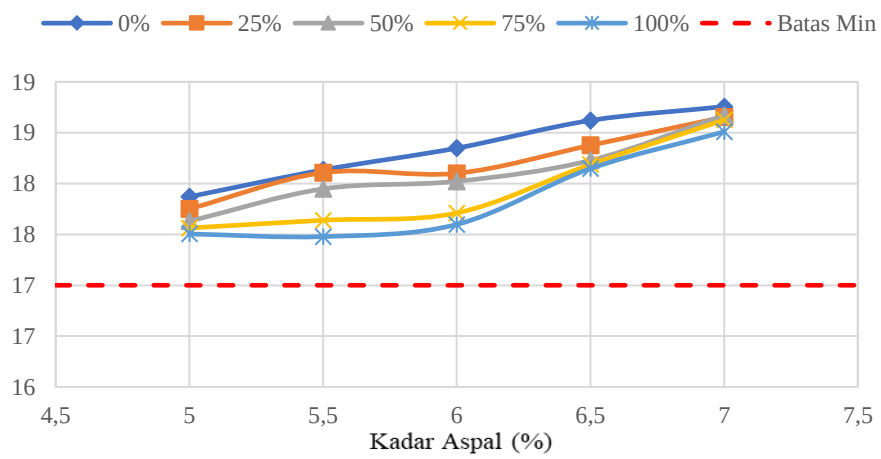


Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 didapatkan hasil bahwa nilai *VFWA* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar aspal 5% sampai 7%, hal ini dikarenakan aspal yang mengisi rongga semakin banyak. Pada grafik terlihat seiring bertambahnya subtitusi agregat halus pada campuran mengalami kenaikan pada kadar 0% hingga 100%. Hal ini disebabkan karena agregat halus pengganti memiliki berat jenis yang lebih tinggi dan memiliki pori yang lebih sedikit dibandingkan agregat halus Clereng, yang mengakibatkan volume jumlah pasir pantai semakin sedikit dibanding pasir Clereng dan aspal tidak banyak terserap oleh agregat seiring bertambahnya subtitusi pasir Pantai. Hal ini mampu meningkatkan kepadatan pada campuran dan mampu mengurangi total rongga dalam campuran yang mengakibatkan semakin besar rongga terisi aspal atau *VFWA*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *VFWA* maka akan semakin kedap campuran terhadap air dan udara.

3. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VMA*

VMA adalah persentase volume rongga udara yang ada diantara butiran agregat dalam sebuah campuran yang telah dipadatkan. *VMA* biasa disebut juga sebagai ruang untuk menampung aspal dan rongga yang dibutuhkan dalam campuran agregat aspal. Adapun hasil dari nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

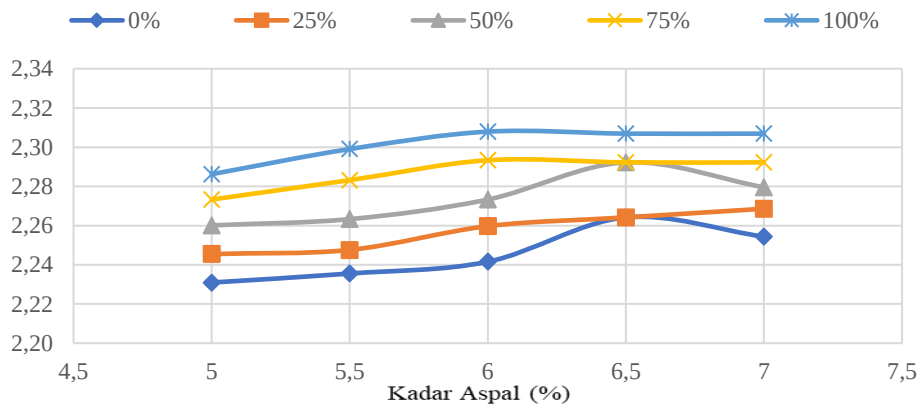


Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 didapatkan hasil bahwa nilai *VMA* cenderung mengalami kenaikan pada kadar 5% hingga 7%. karena selimut aspal menjadi lebih tebal seiring bertambahnya kadar aspal yang menyebabkan jarak rongga antar agregat semakin terisi oleh aspal. Kemudian pada grafik menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo mengalami penurunan nilai *VMA* dibandingkan dengan campuran tanpa tambahan subtitusi pasir Pantai. Hal ini disebabkan oleh berat jenis agregat halus pengganti atau pasir Pantai memiliki berat jenis yang lebih tinggi. Ini mengakibatkan volume pasir Pantai semakin sedikit dibandingkan pasir Clereng dalam berat yang sama, Kemudian pori agregat halus pasir pantai lebih kecil yang menjadikan selimut aspal menjadi lebih tebal karena rongga dalam campuran akan semakin banyak terisi oleh aspal. Dari hasil pengujian didapat bahwa nilai *VMA* pada campuran *SMA* dengan subtitusi pasir Pantai 0% hingga 100% memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu >17%.

4. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Density*

Density merupakan nilai kepadatan campuran pada satuan volume. Semakin besar kadar aspal yang digunakan dalam campuran maka tingkat kepadatan dan kerapatannya akan semakin tinggi, hal ini disebabkan karena jumlah aspal yang digunakan semakin tinggi dapat mengisi rongga antar butir. *Density* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti metode pemadatan, temperatur pemadatan, dan proporsi bahan campuran. Adapun hasil dari nilai *Density* dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

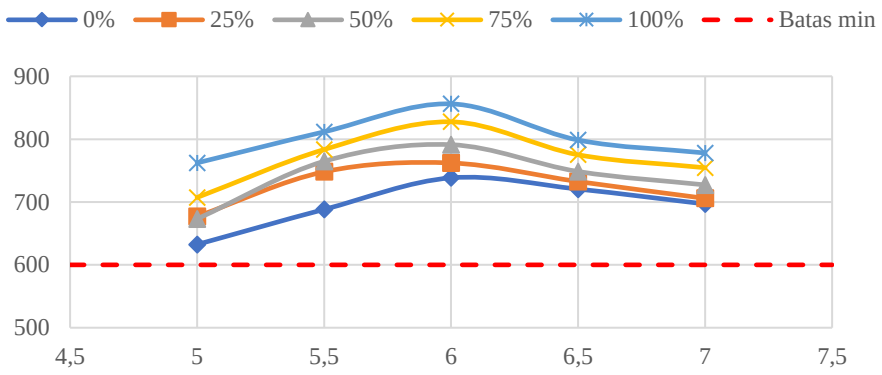


Gambar 5.9 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9 didapatkan hasil bahwa nilai *density* cenderung semakin tinggi seiring bertambahnya kadar aspal pada kadar 5% hingga 7%. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal sehingga jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butirannya sebanding besarnya. Sedangkan pada saat penambahan subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo yaitu 0% sampai dengan 100% mengalami kenaikan dimana hal tersebut menunjukkan bahwa campuran memiliki kepadatan yang baik. Hal ini disebabkan oleh berat jenis pasir Pantai yang lebih tinggi dibandingkan dengan berat jenis agregat halus Clereng. Berat jenis yang tinggi menunjukkan bahwa volume jumlah pasir Pantai semakin sedikit dari pada pasir Clereng pada berat yang sama dan berat jenis yang tinggi mengindikasikan bahwa material memiliki kepadatan yang baik, sehingga campuran dapat menjadi lebih padat, kedap air dan mampu menahan beban dengan baik.

5. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Stabilitas yaitu kemampuan lapis perkerasan untuk menerima beban lalu lintas dan menahan deformasi akibat dari adanya beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai Stabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kohesi aspal, gesekan *(internal friction),* saling mengunci antar partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan, dan gradasi agregat. Hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



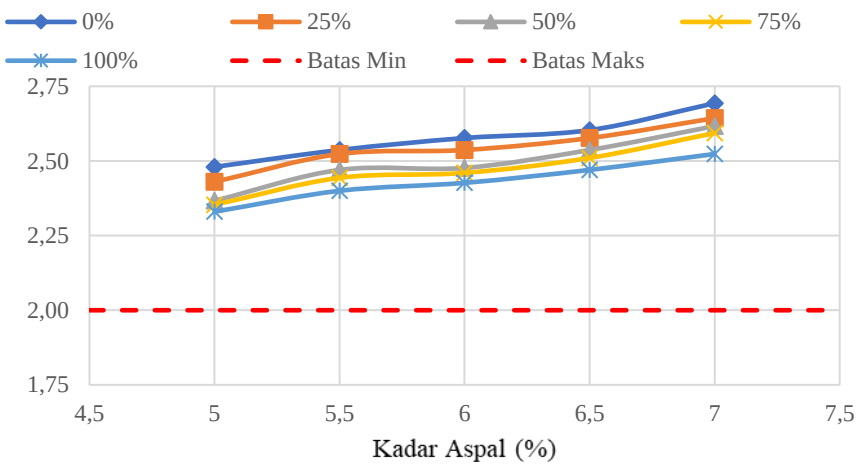
Gambar 5.10 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa hasil nilai stabilitas pada campuran *SMA*, dimana kadar 5% hingga 6% mengalami peningkatan nilai stabilitas seiring dengan bertambahnya kadar aspal sampai pada kondisi optimum, kemudian nilai stabilitas mengalami penurunan pada kadar berikutnya yaitu pada kadar 6,5% dan 7%, penurunan terjadi setelah melewati kondisi kadar optimumnya. Pada kadar aspal 5%, stabilitas memiliki nilai yang rendah yang disebabkan karena kadar aspal relatif sedikit sehingga aspal yang tersedia tidak mampu untuk melapisi seluruh bagian agregat dengan baik sehingga menyebabkan campuran kurang padat. Kemudian pada kadar 6% nilai Stabilitas mencapai titik optimumnya, hal ini terjadi karena jumlah aspal yang tersedia cukup untuk melapisi seluruh agregat secara optimal dan mampu mengikat agregat secara kuat tanpa menyebabkan campuran menjadi terlalu lunak atau terlalu kaku. Sedangkan pada kadar aspal 6,5% dan 7% mengalami penurunan nilai stabilitas yang disebabkan karena jumlah aspal yang terlalu banyak, sehingga menyebabkan selimut aspal menjadi tebal. Hal ini akan mengakibatkan campuran rentan terhadap deformasi saat menerima beban dikarenakan lapisan aspal yang berlebih dapat mengurangi gesekan antar butiran agregat, sehingga kemampuan stabilitas campuran menjadi berkurang. Hasil ini sejalan dengan penelitian Nofrianto dan Astika (2023) dimana nilai Stabilitas mengalami kenaikan sampai pada kondisi optimum

kemudian mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Kemudian pada penambahan kadar subtitusi Pasir Pantai Pandansimo yaitu 0% - 100% mengalami kenaikan nilai stabilitas. Hal ini disebabkan karena Pasir Pantai Pandansimo mempunyai berat jenis yang tinggi dibandingkan dengan pasir Clereng, yang mengakibatkan jumlah jumlah volume pasir yang semakin sedikit dari pada pasir Clereng pada berat yang sama, sehingga menyebabkan nilai *void* semakin sedikit. Kemudian pasir Pantai Pandansimo juga tidak memiliki kadar lumpur sehingga pasir Pantai lebih mampu *interlocking* antara agregat dengan aspal. Hal ini menunjukkan campuran yang lebih padat, mampu mengurangi rongga udara di dalamnya dan mampu saling mengikat. Semakin kecil *void* dan kandungan lumpur, semakin meningkatnya nilai stabilitas campuran yang menjadikan campuran lebih tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat halus pengganti pasir Pantai Pandansimo mampu meningkatkan kepadatan campuran, dimana hal ini merupakan faktor penting dalam perkerasan menahan deformasi permanen. Kepadatan yang lebih tinggi umumnya menghasilkan nilai stabilitas yang lebih baik. Nilai stabilitas pada kadar aspal 5% sampai 7% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga Revisi 2 sebesar > 600.

6. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow*

Flow merupakan besarnya deformasi plastis atau perubahan bentuk vertikal yang dialami oleh campuran aspal dari awal pembebanan sampai dengan kondisi kestabilan menurun akibat beban yang bekerja pada suatu perkerasan. Nilai *flow* yang terlalu tinggi menunjukkan campuran yang terlalu lunak dan mudah berdeformasi, sedangkan *flow* yang terlalu rendah menunjukkan campuran yang kaku sehingga beresiko mengalami keretakan akibat tekanan beban lalu lintas. Hasil pengujian *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



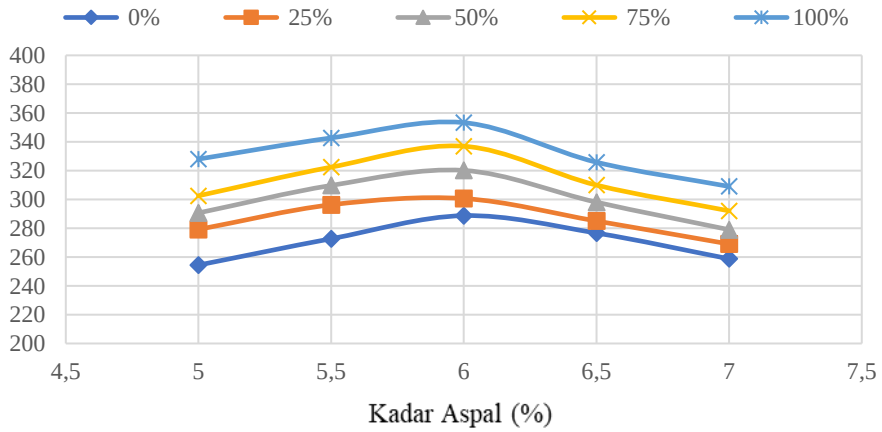
Gambar 5.11 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal 5% hingga 7% mengalami peningkatan nilai *flow*. Hal ini disebabkan adanya peningkatan fleksibilitas dalam campuran yang disebabkan oleh semakin meningkatnya lapisan aspal yang semakin tebal karena pertambahan kadar aspal pada campuran yang menyebabkan campuran menjadi lebih lunak atau plastis yang mengakibatkan campuran lebih rentan untuk terjadi perubahan bentuk atau deformasi saat terkena beban. Kemudian seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat halus pasir Pantai mengalami penurunan dimana kadar subtitusi 0% memiliki nilai *flow* paling tinggi dan subtitusi 100% memiliki nilai yang paling rendah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah material dan berat jenis yang dimiliki oleh pasir Pantai Pandansimo, karena berat jenis yang tinggi menunjukkan jumlah volume pasir semakin sedikit dari pada pasir Clereng pada berat yang sama. Hal ini mengakibatkan jumlah *void* semakin menurun dan terjadi peningkatan kepadatan pada campuran sehingga terjadi penurunan nilai *flow* seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat halus pasir Pantai. Nilai *flow* pada kadar aspal 5% sampai 7% telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu 2 - 4,5.

7. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *MQ*

MQ adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *MQ*

digunakan untuk mengetahui kekakuan dan ketahanan campuran aspal terhadap deformasi permanen, semakin tinggi nilai *MQ* maka semakin tinggi kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi, yang menunjukkan campuran aspal yang lebih stabil dan tahan lama. Sebaliknya, nilai *MQ* yang rendah menunjukkan tingkat kelenturan dan plastisitas yang kurang stabil sehingga berpotensi mengalami deformasi lebih cepat akibat adanya beban lalu lintas. Adapun Nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *MQ*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 diperoleh hasil bahwa nilai *MQ* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, dimulai pada kadar 5% hingga mencapai puncaknya 6%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal setelahnya yaitu 6,5% hingga 7%. Seiring bertambahnya kadar aspal nilai *MQ* mengalami kenaikan, hal ini disebabkan oleh peningkatan kohesi dan kepadatan campuran aspal sehingga memberikan kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi. Namun, apabila kadar aspal melebihi batas optimum, nilai *MQ* akan mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan kelebihan aspal menyebabkan campuran menjadi lebih plastis, sehingga kekuatan ikatan antar-agregat menurun dan meningkatkan risiko deformasi yang lebih besar. Kenaikan dan penurunan nilai *MQ* dapat disebabkan oleh beberapa faktor di antara lain yaitu kadar aspal, temperatur pemadatan, jumlah tumbukan saat pemadatan dan bentuk agregat.

Kemudian nilai *MQ* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Hal ini terjadi karena peningkatan kepadatan dan ketahanan terhadap deformasi yang disebabkan oleh berat jenis pasir Pantai yang tinggi dibandingkan pasir Clereng. Berat jenis yang tinggi menunjukkan bahwa material memiliki partikel yang padat. Pada kadar 5% hingga 7%, nilai *MQ* telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

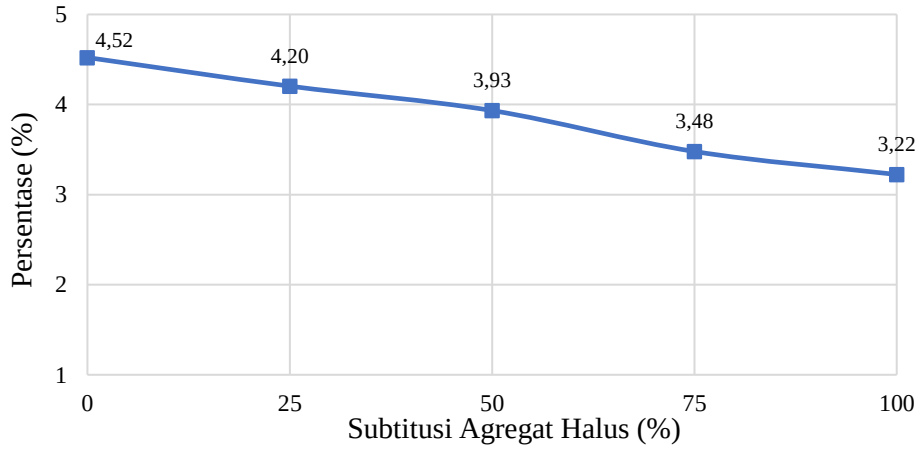
5.2.6 Karakteristik Pengujian *Marshall* pada KAO Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo Sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai berat jenis pasir Pantai Pandansimo memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan berat jenis agregat halus Clereng. Hal tersebut dapat berpengaruh terhadap nilai dalam campuran *SMA*.

Berikut merupakan hasil pengujian Pengaruh penggunaan pasir Pantai Pandansimo sebagai pengganti subtitusi agregat halus dengan nilai KAO yang telah didapatkan.

1. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai *VITM*

   Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai *VITM* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



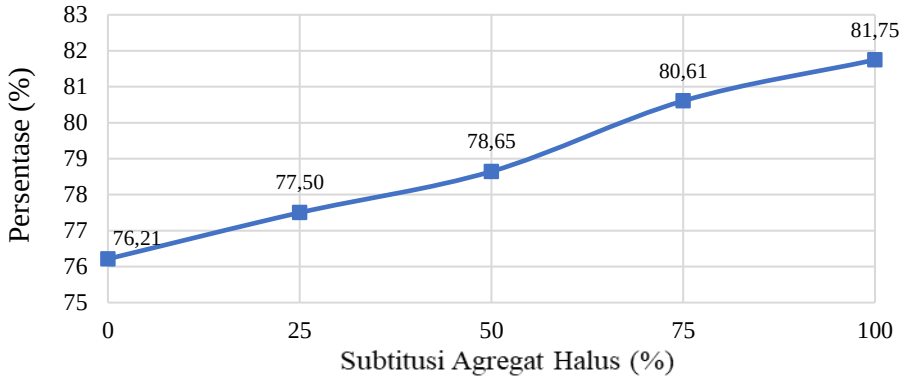
Gambar 5.13 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo Terhadap Nilai *VITM*

Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.13 didapatkan bahwa hasil nilai *VITM* semakin menurun seiring bertambahnya variasi subtitusi pasir Pantai Pandansimo pada kadar 0% hingga 100%. Penurunan *VITM* terjadi karena penggunaan agregat dengan ukuran atau bentuk tertentu yang mampu mengisi ruang antar partikel yang lebih rapat. Pada kadar subtitusi 0% didapatkan bahwa campuran *SMA* masih memiliki lebih banyak ruang kosong diantara partikel agregat pada campuran sehingga menyebabkan persentase *void* dalam campuran yang tinggi. Pada kadar 25% hingga 100% nilai *VITM* menurun, dimana hal ini menunjukkan bahwa substitusi pasir pantai Pandansimo dapat mempengaruhi nilai *VITM* dikarenakan tekstur permukaan agregat halus Pantai cenderung lebih halus dan berat jenis yang lebih tinggi daripada agregat halus Clereng. Berat jenis yang tinggi menunjukkan partikel yang lebih padat sehingga pada berat yang sama partikel pasir Pantai dengan berat yang sama memiliki jumlah yang lebih sedikit dibanding pasir Clereng. Pasir pantai juga memiliki pori yang lebih kecil yang menunjukkan bahwa aspal tidak banyak terserap oleh agregat. Sehingga, pasir pantai lebih efektif dalam mengisi ruang antar partikel secara optimal sehingga daya rekat antara butiran meningkat dan membuat campuran memiliki tingkat kepadatan yang tinggi dan kedap oleh air sehingga dapat mengurangi rongga dalam campuran. Ketika kandungan subtitusi pasir pantai yang semakin bertambah membuat kepadatan campuran meningkat dan mengurangi persentase *void* atau ruang kosong dalam campuran *SMA*, yang dapat terlihat pada grafik dimana terjadi penurunan nilai *VITM* yang diakibatkan karena semakin sedikitnya rongga yang tersedia pada campuran. Sejalan dengan penelitian Devi dan Affandy (2021) dimana Penurunan nilai *VITM* menunjukkan bahwa kecilnya rongga yang tertutupi oleh serbuk besi mengakibatkan campuran kedap oleh air dan udara yang kemudian menyebabkan campuran menjadi getas (kaku). Nilai VITM telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu berkisar antara 3% - 5%.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan 34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikasi (<0,05). Hasil signifikan didapat 0,001 < 0,05 (signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo berpengaruh terhadap nilai *VITM*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo dapat berpengaruh terhadap nilai *VITM* pada campuran.

2. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai *VFWA*

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai *VFWA* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *VFWA*

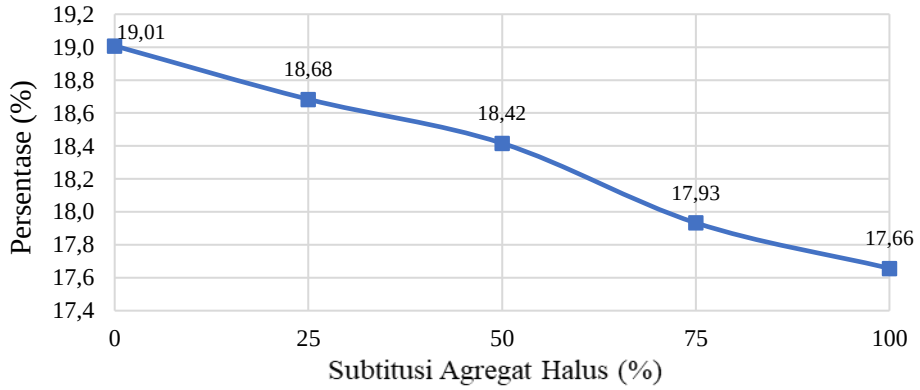
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.14 didapatkan bahwa hasil nilai *VFWA* mengalami kenaikan seiring bertambahnya subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo pada kadar 0% hingga 100%. Pada kadar 0% subtitusi dihasilkan *VFWA* memiliki nilai yang cukup kecil dibandingkan dengan kadar yang lainnya. Hal ini disebabkan karena aspal belum secara maksimal mengisi rongga yang ada pada campuran. Pada kadar 25% hingga

100% dimana kadar subtitusi pasir Pantai mulai meningkat dihasilkan bahwa nilai *VFWA* juga ikut meningkat. Kenaikan nilai *VFWA* menunjukkan bahwa ruang pori dalam campuran lebih banyak diisi oleh aspal yang meningkatkan daya tahan dan ketahanan terhadap deformasi dan kerusakan. Kenaikan nilai *VFWA* disebabkan oleh partikel pasir pantai yang halus dan memiliki kepadatan tinggi yang ditandai dengan tingginya berat jenis pasir Pantai Pandansimo yang mengakibatkan jumlah pasir Pantai lebih sedikit dibandingkan pasir Clereng pada berat yang sama. Kemudian pasir Pantai memiliki jumlah penyerapan air yang kecil, sehingga rongga dalam campuran dapat berkurang dan rongga antar partikel agregat dapat terisi aspal dengan baik sehingga aspal mampu mengikat agregat dengan baik *(interlocking)* dan rongga yang terbentuk akan lebih kecil karena telah diisi oleh aspal secara maksimal sehingga campuran memiliki kekedapan campuran terhadap air dan udara yang menjadi semakin tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Nadhila dan Subarkah (2018) bahwa nilai penyerapan air atau kekedapan yang kecil dapat mempengaruhi besarnya rongga pada campuran yang terisi aspal.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan 34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikasi (<0,05). Hasil signifikan didapat 0,001 $<$ 0,05 (signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo berpengaruh terhadap nilai *VFWA*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo mampu berpengaruh terhadap nilai *VFWA* pada campuran.

3. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai *VMA*

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai *VMA* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *VMA*

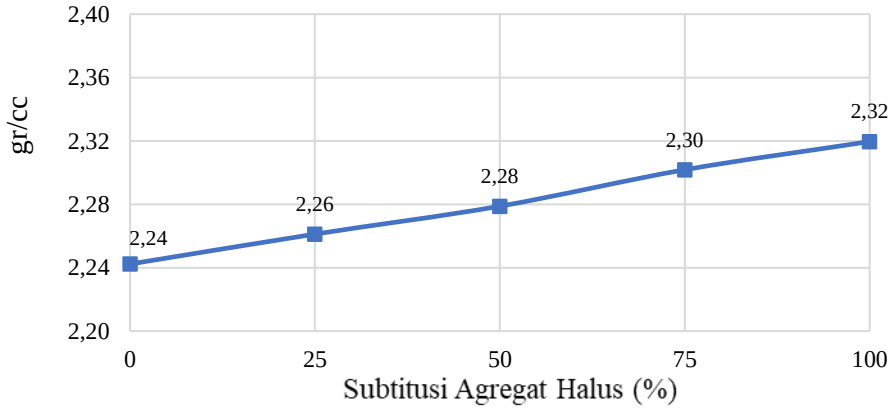
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.15 didapatkan bahwa hasil nilai *VMA* mengalami penurunan seiring bertambahnya persen subtitusi pasir Pantai Pandansimo, hal ini menunjukkan bahwa jumlah ruang kosong yang tersedia di antara partikel agregat semakin sedikit seiring bertambahnya subtitusi agregat halus pengganti. Sedangkan pada subtitusi 0% dimana agregat halus sepenuhnya menggunakan pasir Clereng dapat terlihat bahwa campuran memiliki ruang kosong yang cukup besar karena campuran memiliki ruang pori yang lebih banyak. Seiring bertambahnya subtitusi pada kadar 25%-100% nilai *VMA* mengalami penurunan. Penurunan nilai *VMA* menunjukkan bahwa ruang kosong di dalam campuran berkurang, yang dapat mempengaruhi fleksibilitas dan ketahanan campuran terhadap beban lalu lintas dan deformasi. Hal ini dikarenakan agregat halus pasir Pantai memiliki berat jenis yang lebih tinggi dan jumlah agregat halus yang semakin sedikit dibanding pasir Clereng pada berat yang sama. Pasir Pantai juga memiliki pori yang lebih sedikit yang menyebabkan aspal tidak banyak terserap oleh agregat. Sehingga dari hal tersebut campuran mampu mengisi ruang kosong di antara agregat dengan lebih baik dan menyebabkan aspal yang terserap oleh agregat stabil yang menyebabkan berkurangnya jumlah *void* yang tersedia di dalam campuran. Penurunan jumlah *void* menyebabkan nilai *VMA* menurun. Sejalan dengan

penelitian Melodi, dkk (2021) dimana nilai *VMA* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya subtitusi batu kapur yang digunakan.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan 34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikasi (<0,05). Hasil signifikan didapat 0,001 < 0,05 (signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo berpengaruh terhadap nilai *VMA*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo dapat berpengaruh terhadap nilai *VMA* pada campuran.

4. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai *Density*

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai *density* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *Density*

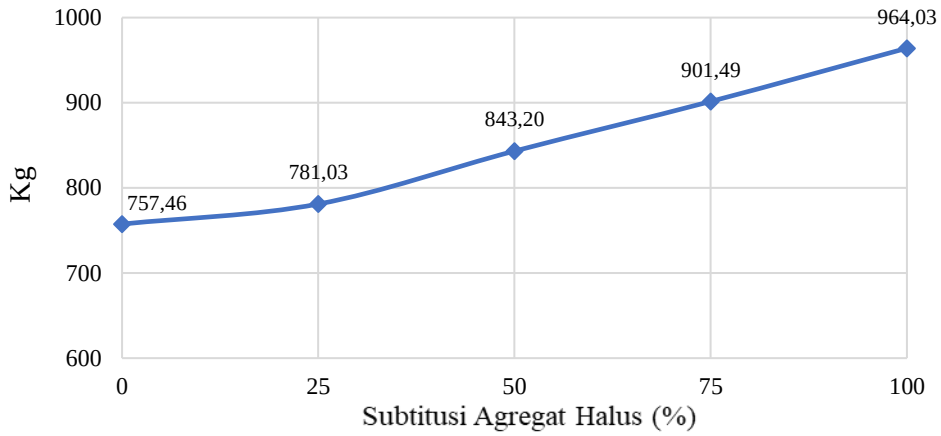
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.16 didapatkan bahwa hasil nilai *density* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat halus. Peningkatan nilai *density* menunjukkan bahwa campuran

lebih padat yang berhubungan langsung dengan peningkatan kualitas dan ketahanan campuran terhadap deformasi dan kerusakan, terutama dalam perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas. Peningkatan nilai *density* terjadi seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai dari kadar 0%, 25%, 50%, 75%, hingga pada puncaknya 100%, dimana memiliki nilai *density* yang paling tinggi dibandingkan kadar sebelumnya. Hal ini disebabkan karena pasir pantai cenderung memiliki butiran yang halus dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi daripada pasir Clereng. Sehingga campuran memiliki kerapatan yang tinggi dan mampu mengisi ruang kosong antar partikel agregat dalam campuran secara optimal. Ketika ruang kosong berkurang, campuran menjadi lebih padat yang dapat meningkatkan nilai *density*, sehingga menjadikan campuran menjadi lebih padat, kedap air dan mampu menahan beban dengan baik. Sejalan dengan penelitian Triputra, dkk (2023) menyatakan bahwa campuran yang mempunyai kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban apabila dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan yang rendah.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan 34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil signifikan didapat 0,001 < 0,05 (signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo berpengaruh terhadap nilai *density*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo mampu mempengaruhi terhadap nilai *density* pada campuran.

5. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai Stabilitas

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai Stabilitas *Marshall* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai Stabilitas

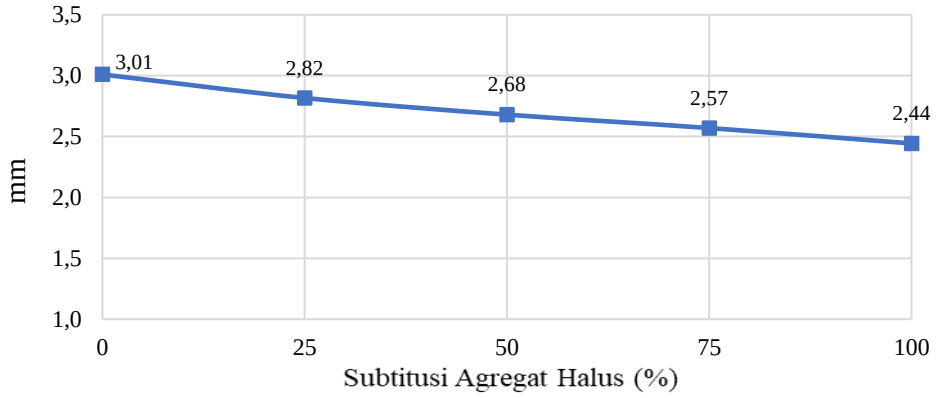
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.17 didapatkan bahwa hasil nilai stabilitas pada campuran *SMA* Halus mengalami kenaikan seiring dengan pertambahan kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo pada kadar 0% hingga 100%. Peningkatan nilai stabilitas disebabkan oleh pasir Pantai Pandansimo yang memiliki kerapatan dan kepadatan lebih tinggi daripada pasir Clereng. Hal ini ditandai dengan berat jenis pasir Pantai lebih tinggi daripada pasir Clereng, yang mengakibatkan volume pasir Pantai lebih sedikit dibanding pasir Clereng pada berat yang sama. Mengakibatkan nilai *void* semakin berkurang sehingga campuran menjadi lebih padat. Kemudian pasir Pantai juga tidak memiliki kandungan lumpur sehingga pasir Pantai lebih mampu mengikat atau *interlocking* dengan aspal. Berat jenis pasir Pantai yang tinggi disebabkan oleh kandungan pasir besi yang tinggi dimana sejalan dengan penelitian Rusianto, dkk (2012) menunjukkan bahwa pasir Pantai yang berasal dari Bantul, Daerah Selatan Yogyakarta didominasi oleh Pasir Besi yang mengandung magnetit dan *maghemite*. Hal

ini membuat campuran mampu lebih padat dan saling *interlocking*. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa setiap penambahan kadar pasir Pantai mengalami peningkatan dan menghasilkan nilai Stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan pasir Clereng. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian Bahri (2017) tentang pemanfaatan limbah serbuk besi sebagai agregat halus menunjukkan bahwa serbuk besi mampu meningkatkan proses pengikatan agregat oleh aspal sehingga nilai Stabilitas menjadi lebih tinggi.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan 34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,16 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil tidak signifikan didapat 0,16 > 0,05 (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai stabilitas. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai stabilitas pada campuran.

6. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai *Flow*

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai *Flow* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *Flow*

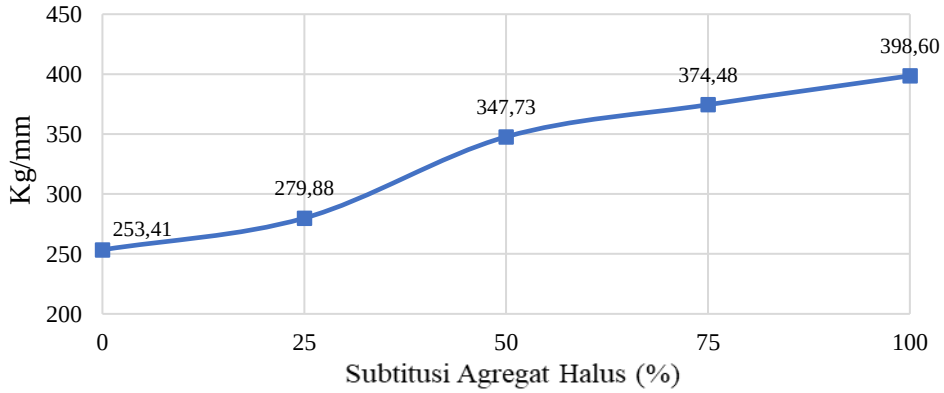
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.18 didapatkan bahwa hasil nilai *flow* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai. Penurunan terjadi pada setiap kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo 0% hingga 100%. Hal ini disebabkan oleh perubahan sifat fisik pasir Pantai Pandansimo yang memiliki berat jenis lebih tinggi dibandingkan agregat halus Clereng dan memiliki butiran lebih halus, dimana hal ini berpengaruh terhadap kerapatan campuran. Sehingga menghasilkan campuran lebih padat dan kaku yang membuat kemampuan pada jalan untuk melendut atau deformasi berkurang (Hadi, dkk 2021). Pasir Pantai Pandansimo pada campuran menyebabkan peningkatan kohesi antar partikel, ketika pasir pantai menggantikan pasir Clereng. Pasir Pantai Pandansimo membuat peningkatan viskositas pada campuran karena tekstur yang lebih halus yang dapat menahan beban lalu lintas dalam menahan keretakan pada aspal. Sejalan dengan penelitian Arifiardi, dkk (2016) menyatakan bahwa nilai *flow* menurun disebabkan oleh tekstur permukaan pasir pantai yang lebih kaku dibandingkan pasir gunung, sehingga nilai *flow* mengalami penurunan.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan

34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,64 pada tingkat signifikasi (<0,05). Hasil tidak signifikan didapat 0,64 > 0,05 (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *flow*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *flow* pada campuran.

7. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi Pasir Pantai terhadap Nilai *MQ*

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai *MQ* pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *MQ*

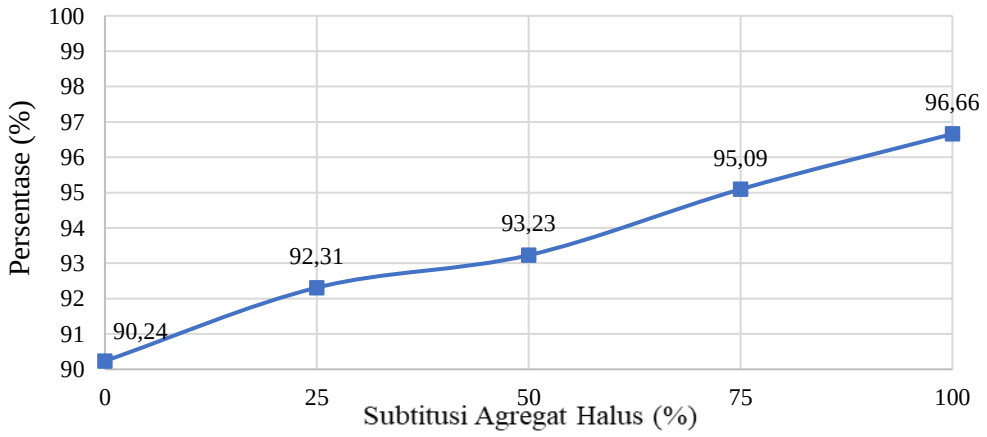
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.19 didapatkan bahwa hasil nilai *MQ* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar pasir Pantai pada campuran *SMA*. Namun Nilai *MQ* cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi pasir pantai, dari 0% hingga 100%. *MQ* merupakan rasio perbandingan antara stabilitas dan *flow* dalam pengujian *Marshall* yang digunakan untuk mengukur kinerja campuran aspal, terutama dalam menahan deformasi dan ketahanan terhadap kerusakan struktural. Peningkatan nilai *MQ* ini terjadi karena pengaruh

tekstur dan sifat fisik pasir pantai yang digunakan sebagai pengganti agregat halus. Pasir Pantai yang memiliki partikel yang halus, berat jenis yang lebih besar, dan tidak memiliki kandungan lumpur dibandingkan dengan pasir Clereng yang mengakibatkan peningkatan kohesi dalam campuran *SMA*. Pasir pantai membuat ikatan yang lebih kuat dengan aspal seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai yaitu dari 0%-100%, dimana hal tersebut mengakibatkan peningkatan Stabilitas campuran. Selain itu, partikel pasir pantai yang halus mampu mengisi ruang antar partikel dengan lebih rapat. Kepadatan yang lebih tinggi menyebabkan campuran menjadi lebih stabil dan tahan terhadap tekanan, yang berimbas pada peningkatan nilai *MQ.* Hal ini juga berkaitan dengan nilai *Flow* yang menurun akibat pengaruh viskositas yang lebih tinggi dimana semakin tinggi viskositas maka mengindikasikan suatu campuran semakin kaku. Peningkatan Stabilitas yang lebih besar dan penurunan nilai *Flow* akan menghasilkan nilai *MQ* yang lebih tinggi. Sejalan dengan penelitian Akbar, dkk (2019) yang menyatakan bahwa Semakin tinggi nilai *MQ* menunjukkan bahwa campuran semakin kaku.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 33 dan 34 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,23 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil tidak signifikan didapat $0{,}23 > 0{,}05$ (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *MQ*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *MQ* pada campuran.

5.2.7 Karakteristik Pengujian *IRS* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus

Pengujian *IRS* adalah pengujian yang digunakan untuk mengukur kemampuan campuran aspal untuk mempertahankan kekuatannya setelah mengalami perendaman dalam air atau paparan kelembaban. *IRS* menunjukkan seberapa baik campuran aspal dapat menahan efek kerusakan dari kelembaban, seperti pengelupasan dan pelepasan antar butiran agregat. Berikut adalah hasil pengujian *IRS* pada campuran *SMA* terhadap variasi subtitusi pasir Pantai yang dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *IRS*

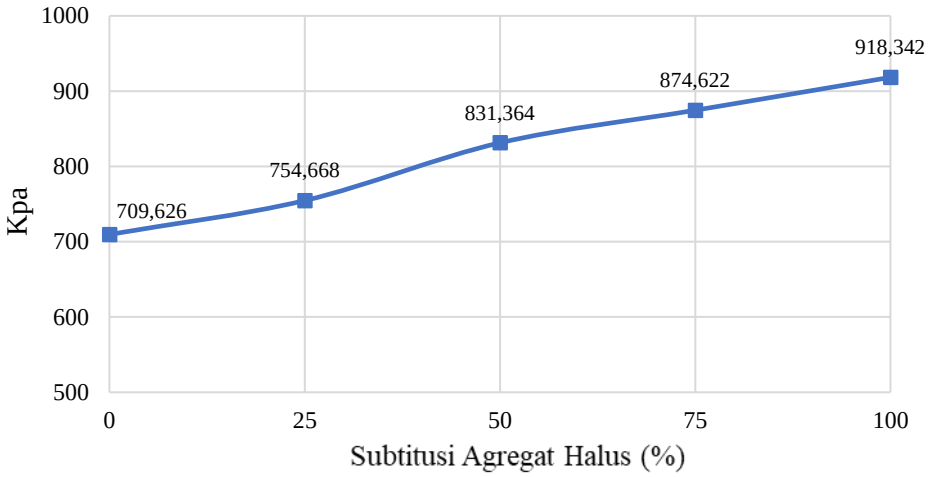
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa pada campuran *SMA* dimana seiring bertambahnya subtitusi agregat halus pengganti yaitu pasir Pantai Pandansimo menunjukkan kenaikan nilai *IRS* pada subtitusi 0% sampai 100%. Semakin tinggi nilai *IRS* maka menunjukkan bahwa campuran aspal lebih mampu mempertahankan kekuatannya meskipun terkena air dan suhu kritis aspal. Peningkatan nilai *IRS* pada kadar subtitusi 0% hingga 100% disebabkan oleh berat jenis agregat halus pasir Pantai Pandansimo lebih tinggi. Hal ini menyebabkan jumlah pasir Pantai lebih sedikit dibandingkan pasir Clereng pada berat yang sama. Pasir Pantai juga tidak memiliki kandungan lumpur sehingga campuran lebih mampu saling *interlocking*. Sehingga campuran memiliki kerapatan dan ikatan

yang lebih baik dengan aspal sehingga campuran lebih kedap terhadap air. Selain itu partikel pasir pantai yang halus ini dapat mengisi lebih banyak ruang antar agregat, yang kemudian menciptakan campuran yang lebih rapat dan padat. Kepadatan yang lebih tinggi ini dapat meningkatkan kekuatan struktural campuran, yang berdampak pada peningkatan nilai *IRS*. Hal ini menunjukkan bahwa pasir Pantai Pandansimo memiliki dan daya tahan yang baik terhadap kerusakan oleh air pada suhu ekstrim dan daya tahan yang baik terhadap kerusakan oleh air, sehingga mampu memperpanjang umur jalan. Sejalan dengan penelitian Intari, dkk (2024) yang menggunakan campuran *SMA* dimana nilai *IRS* mengalami peningkatan seiring bertambahnya serat enceng gondok dan memenuhi kriteria yaitu paling sedikit 90%.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 35 dan 36 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,98 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil tidak signifikan didapat $0{,}98 > 0{,}05$ (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *IRS*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *IRS* pada campuran.

5.2.8 Karakteristik Pengujian *ITS* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus

Pengujian ITS merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengukur kekuatan tarik tidak langsung dari campuran aspal yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap retak akibat beban lalu lintas. Berikut merupakan hasil pengujian *ITS* pada campuran *SMA* terhadap variasi subtitusi pasir Pantai yang dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *ITS*

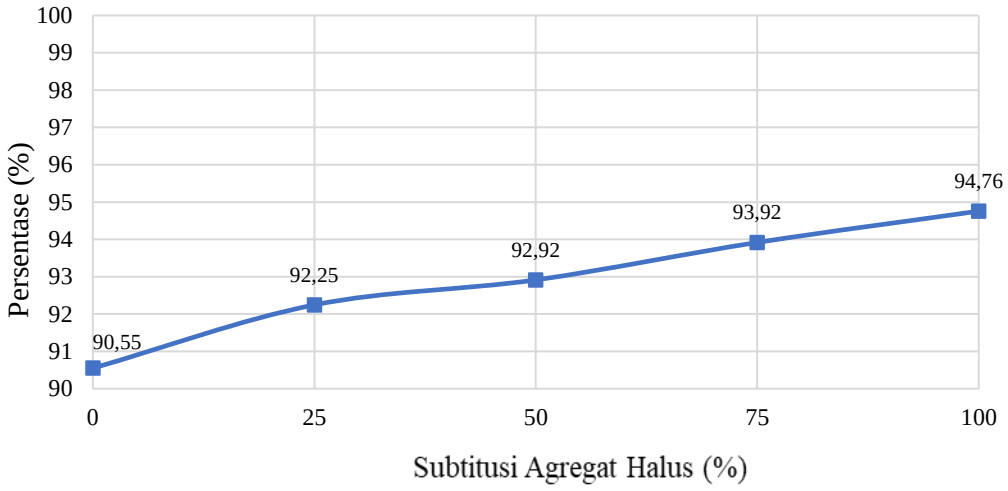
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.21 didapatkan bahwa hasil nilai *ITS* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat halus pasir Pantai pandansimo. Peningkatan nilai *ITS* mengindikasikan bahwa campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap keretakan atau kerusakan akibat beban lalu lintas. Peningkatan nilai *ITS* terjadi ketika penambahan substitusi pasir pantai Pandansimo pada kadar 0% hingga 100%. Hal ini terjadi karena pasir Pantai memiliki karakteristik berat jenis yang lebih tinggi, partikel yang lebih halus dan tidak memiliki kandungan lumpur dibanding agregat halus Clereng. Berat jenis yang tinggi menunjukkan bahwa suatu agregat memiliki jumlah yang lebih sedikit dibandingkan agregat halus dengan berat jenis yang lebih rendah pada berat yang sama. Sehingga campuran memiliki kepadatan dan kerapatan yang lebih tinggi dan mampu meningkatkan kekedapan lebih pada suatu campuran. Sedangkan partikel yang halus dan tidak memiliki kadar lumpur memiliki sifat yang lebih baik dalam berinteraksi dengan aspal, menghasilkan daya lekat yang lebih baik antara agregat dan aspal**.** Ketika pasir pantai menggantikan sebagian agregat halus dalam campuran *SMA*, campuran cenderung menjadi lebih padat dan homogen. Kepadatan ini dapat meningkatkan kekuatan tarik campuran aspal, sehingga nilai *ITS* meningkat. Selain itu, campuran yang lebih padat akan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban lalu lintas yang dinamis. Berbanding terbalik dengan

penelitian Tajudin dan Suparma (2017) dimana nilai *ITS* menurun dikarenakan turunnya sifat adhesi atau kerekatan antara aspal dan agregat.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 35 dan 36 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil signifikan didapat 0,001 $<$ 0,05 (signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo berpengaruh terhadap nilai *ITS*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo ber pengaruh terhadap nilai *ITS* pada campuran.

5.2.9 Karakteristik Pengujian *TSR* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus

Pengujian *TSR* merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengukur ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat air dan kerusakan adhesi antara aspal dan agregat. Nilai *TSR* diperoleh dengan membandingkan kekuatan tarik campuran aspal yang telah direndam dalam air selama waktu tertentu (24 jam) dengan kekuatan tarik campuran aspal dalam kondisi kering. Berikut merupakan hasil pengujian *TSR* pada campuran *SMA* terhadap variasi subtitusi pasir Pantai yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *TSR*

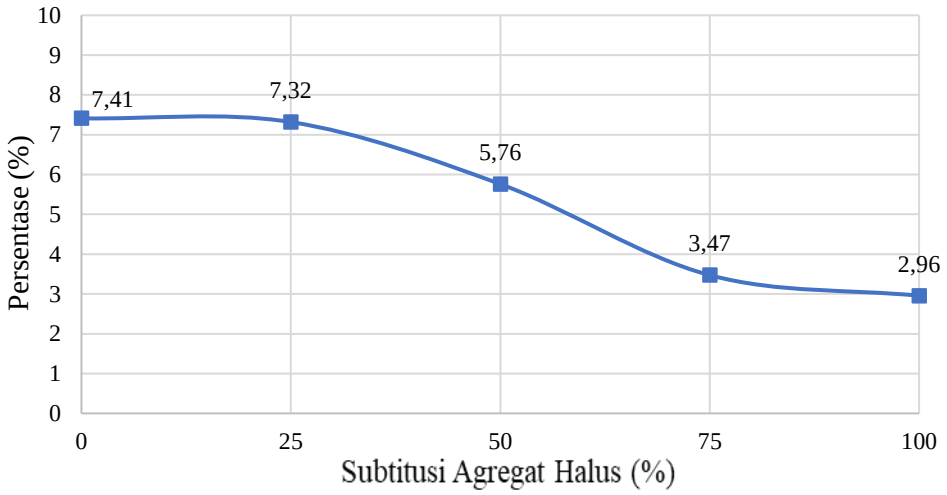
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.22 didapatkan bahwa hasil nilai *TSR* meningkat seiring penambahan subtitusi pasir Pantai sebagai agregat halus pengganti. Nilai *TSR* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal lebih tahan terhadap kerusakan atau keretakan akibat kelembaban yang merupakan faktor penting dalam daya tahan perkerasan jalan. Peningkatan nilai *TSR* menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki daya lekat yang baik meskipun terpapar air atau kelembaban, yang meningkatkan umur pakai perkerasan aspal. Seiring bertambahnya kadar subtitusi Pasir Pantai Pandansimo nilai *TSR* semakin meningkat, hal ini dikarenakan Pasir Pantai Pandansimo mampu meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat pengaruh air karena berat jenis pasir Pantai yang lebih tinggi. Berat jenis yang lebih tinggi membuat jumlah pasir lebih sedikit dibandingkan jumlah pasir Clereng pada berat yang sama sehingga efektif dalam mengurangi *void* dan memiliki kerapatan dan ikatan yang lebih baik dengan aspal *(Interlocking)*. Peningkatan kepadatan pada campuran membantu mengurangi air masuk ke dalam lapisan perkerasan, sehingga meningkatkan ketahanan campuran terhadap kelembaban dan kerusakan akibat air, sehingga nilai *TSR* meningkat seiring bertambahnya subtitusi pengganti agregat halus. Pasir pantai yang juga lebih halus mengisi ruang antar partikel agregat dengan lebih rapat, yang mengurangi ruang pori dalam campuran. Dengan mengurangi porositas, campuran

menjadi lebih kuat terhadap pengaruh kelembaban, yang membantu mempertahankan kekuatan tarik, bahkan dalam kondisi basah. Menurut penelitian Tajudin dan Suparma (2017) menyatakan bahwa nilai *TSR* menunjukkan perbandingan *ITS* dapat menggambarkan perkiraan kerentanan campuran terhadap air dan kelembaban.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 35 dan 36 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,97 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil tidak signifikan didapat $0{,}97 > 0{,}05$ (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai *TSR*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai *TSR* pada campuran.

5.2.10 Karakteristik Pengujian *CL* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus

Pengujian *CL* merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mengukur ketahanan campuran terhadap disintegrasi atau pelepasan material akibat beban lalu lintas. Hasil pengujian *CL* terhadap variasi subtitusi pasir Pantai dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *CL*

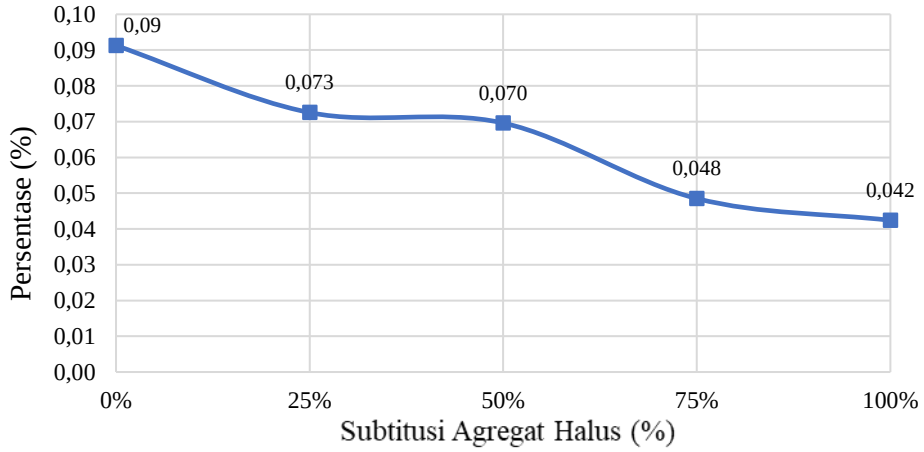
Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.23 didapatkan bahwa hasil nilai *CL* mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi subtitusi agregat halus pasir Pantai pandansimo. Pasir pantai memiliki berat jenis yang lebih besar dan tidak memiliki kandungan lumpur. Hal ini menyebabkan pasir pantai lebih baik dalam mengisi ruang kosong pada campuran sehingga mengurangi *void*, membuat campuran mampu untuk saling mengikat *(interlocking)* dan meningkatkan kepadatan. Ketika pasir pantai menggantikan sebagian agregat halus, daya lekat antara aspal dan agregat meningkat, karena pasir pantai yang lebih halus dan tidak memiliki kadar lumpur mampu untuk berikatan dengan bitumen. Peningkatan daya lekat ini mengurangi potensi *stripping* (pelepasan aspal dari agregat). Hal tersebut menunjukkan bahwa seiring bertambahnya agregat halus pengganti ketahanan terhadap disintegrasi semakin meningkat yang menyebabkan kehilangan berat yang semakin berkurang dibanding dengan variasi subtitusi 0% yang sepenuhnya menggunakan agregat halus Clereng. Sejalan dengan penelitian Muslimin, dan dkk (2014) menyatakan bahwa *CL* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menilai ketahanan disintegrasi campuran aspal dan agregat terutama dalam keausan akibat lalu lintas kendaraan.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal

dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 35 dan 36 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,42 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil tidak signifikan didapat 0,42 > 0,05 (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai *CL*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai *CL* pada campuran.

5.2.11 Karakteristik Pengujian *Draindown* Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti Subtitusi Agregat Halus

Draindown adalah kondisi dimana campuran agregat dan aspal memisahkan diri dari sampel secara keseluruhan dan cenderung mengalir ke bawah dari campuran tersebut. Pengujian *Draindown* bertujuan untuk mengetahui jumlah pengaliran aspal yang terjadi pada kondisi suhu pencampuran pada campuran yang belum dipadatkan. Berikut merupakan hasil hubungan antara subtitusi pasir Pantai dengan nilai Draindown pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.24 sebagai berikut.



Gambar 5.24 Grafik Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Pasir Pantai Pandansimo terhadap Nilai *Draindown*

Berdasarkan pada grafik dari Gambar 5.24 didapatkan bahwa hasil nilai *Draindown* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat

halus pasir Pantai Pandansimo. Nilai *Draindown* yang rendah mengindikasikan bahwa campuran aspal memiliki keseimbangan yang baik antara bitumen dan agregat sehingga mampu mencegah campuran aspal terpisah atau mengalir keluar dari campuran dan mampu meningkatkan kualitas perkerasan dalam daya tahan dan deformasi. Seiring bertambahnya kadar subtitusi Pasir Pantai hingga pada puncaknya pada kadar 100% nilai *draindown* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena substitusi agregat halus pengganti memiliki kekuatan yang lebih baik dalam menahan aspal agar tetap terikat dan melekat pada campuran, sehingga mencegah aspal mengalir keluar. Sejalan dengan penelitian Abdillah, dkk (2018) yang menggunakan campuran *SMA* dimana nilai *Draindown* terus menurun dikarenakan pengaliran aspal semakin kecil.

Pada analisis statistik *ANOVA* nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogen telah memenuhi signifikansi yaitu data sudah terdistribusi secara normal dan data homogen yang dapat dilihat pada lampiran 35 dan 36 dimana pada uji tersebut hasil nilai signifikansi yang didapat > 0,05 (signifikan). Kemudian pada *One Way ANOVA* sebesar 0,98 pada tingkat signifikasi (< 0,05). Hasil tidak signifikan didapat $0{,}98 > 0{,}05$ (tidak signifikan), sehingga dapat diberikan kesimpulan bahwa subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *draindown*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA* dengan penggunaan agregat halus pasir Pantai Pandansimo tidak berpengaruh terhadap nilai *draindown* pada campuran.

5.3 Tinjauan Karakteristik Campuran *SMA* dengan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Pengganti subtitusi Agregat Halus

Dari penelitian yang telah dilakukan secara menyeluruh, mendapatkan kesimpulan dari berbagai macam hasil yang didapat. Berat jenis agregat halus pasir Pantai Pandansimo yang lebih besar daripada agregat halus Clereng, penyerapan air yang lebih kecil dibandingkan dengan pasir Clereng yang menyebabkan kenaikan kinerja campuran pada karakteristik *Marshall*, pengujian *ITS, IRS, TSR, CL* dan *Draindown* seiring bertambahnya variasi subtitusi agregat halus pasir Pantai dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berikut merupakan rekapitulasi hasil

pengujian dengan subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo pada campuran *SMA* yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 Berikut.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Subtitusi Agregat Halus Pengganti pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Kadar Pasir Pantai (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Kekuatan (*strength)*	Stabilitas (KG)	757,46	781,03	843,20	901,49	964,03	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai Stabilitas mengalami kenaikan sehingga menyebabkan campuran lebih mampu menahan deformasi.
	Flow (mm)	3,01	2,82	2,68	2,57	2,44	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *Flow* mengalami penurunan yang kemudian mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku namun masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.
	MQ (kg/mm)	249,97	279,88	347,73	374,48	398,60	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *MQ* mengalami kenaikan, dimana hal tersebut menunjukkan bahwa campuran mampu menahan deformasi dengan lebih baik.
	ITS (Kpa)	709,63	754,67	831,36	874,62	918,34	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100% nilai *ITS* mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu menahan kuat tarik secara baik sehingga mampu menahan terhadap deformasi dan keretakan akibat beban lalu lintas.

Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Subtitusi Agregat Halus Pengganti pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Kadar Pasir Pantai (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Volumentrik	*VITM* (%)	4,52	4,20	3,93	3,48	3,22	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *VITM* mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar subtitusi rongga yang ada pada campuran mampu terisi secara optimal.
	VFWA (%)	76,21	77,50	78,65	80,61	81,75	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *VFWA* mengalami kenaikan yang disebabkan oleh peningkatan kepadatan dan Interlocking antar agregat yang baik.
	VMA (%)	19,01	18,68	18,42	17,93	17,66	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *VMA* mengalami. Hal ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kadar pasir Pantai Pandansimo campuran memiliki ruang kosong antar agregat yang semakin kecil.
	Density (gr/cc)	2,24	2,26	2,27	2,30	2,32	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *Density* mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat kepadatan dan kerapatan yang semakin optimal.

Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan Pasir Pantai Pandansimo sebagai Subtitusi Agregat Halus Pengganti pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Kadar Pasir Pantai (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Durabilitas	*IRS* (%)	90,64%	92,31%	93,23%	959%	96,66%	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *IRS* mengalami kenaikan. Kenaikan nilai *IRS* mengindikasikan bahwa campuran mampu mempertahankan kekuatannya saat terkena paparan suhu yang tinggi.
	TSR (%)	90,55%	92,24%	92,91%	93,91%	94,75%	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *TSR* semakin meningkat. Kenaikan nilai *TSR* menunjukkan ketahanan campuran terhadap kerusakan adhesi akibat suhu yang ekstrim.
	CL (%)	7,72%	7,31%	5,76%	3,47%	2,95%	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *CL* mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena seiring bertambahnya subtitusi pengganti campuran mampu menahan terjadinya disintegrasi atau pelepasan material.
	Draindown (%)	0,09%	0,07%	0,07%	0,48%	0,04%	Seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai Pandansimo dari 0% hingga 100%, nilai *Draindown* mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa aspal pada campuran lebih mampu terikat dikarenakan campuran tercampur secara homogen.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang telah dilakukan dari karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus dengan variasi subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada pengujian sifat fisik pasir dari Pantai Pandansimo didapatkan hasil bahwa nilai berat jenis pasir Pantai Pandansimo sebesar 2,98, nilai penyerapan agregat terhadap air sebesar 0,72% dan *Sand Equivalent* sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sifat fisik pasir Pantai Pandansimo telah memenuhi Spesifikasi yang ditentukan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2 sehingga dapat digunakan sebagai pengganti variasi subtitusi agregat halus sebagai pengganti dalam campuran aspal.
2. Nilai pada karakteristik *Marshall* yaitu nilai stabilitas, *flow, MQ, VITM, VFWA, VMA* sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Nilai Stabilitas dan *MQ* mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi subtitusi pasir Pantai sebagai pengganti agregat halus pada kadar 0% hingga 100%. Nilai *Flow* menurun seiring bertambahnya kadar subtitusi agregat halus pengganti. Nilai *VITM* dan *VMA* yang menurun seiring bertambahnya variasi subtitusi pasir Pantai Pandansimo. Nilai *VFWA* mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi pasir Pantai Pandansimo sebagai pengganti agregat halus. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo, kinerja campuran aspal mengalami penurunan.
3. Nilai kuat Tarik tak langsung pada pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada campuran *SMA* seiring dengan pertambahan variasi subtitusi agregat halus pasir Pantai Pandansimo pada kadar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa pasir Pantai Pandansimo

memiliki ikatan antar agregat dan aspal *(Interlocking)* yang baik dan kerapatan yang tinggi sehingga tidak membuat campuran lebih mudah retak.

4. Nilai durabilitas pada uji *Indirect Retained Strength (IRS)* pada campuran *SMA* mengalami kenaikan seiring bertambahnya subtitusi pasir Pantai Pandansimo. Hal ini menunjukkan bahwa pasir Pantai Pandansimo dapat digunakan sebagai subtitusi agregat halus pada campuran, karena lebih tahan terhadap perendaman dan mempertahankan kekuatannya pada titik suhu kritis aspal. Hasil *IRS* didapatkan telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
5. Nilai kuat tarik pada uji *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran *SMA* menggunakan agregat halus pasir Pantai Pandansimo pada kadar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa pasir Pantai Pandansimo dapat digunakan sebagai agregat halus pada campuran *SMA*. Hal ini dikarenakan pasir Pantai Pandansimo memiliki berat jenis yang tinggi, memiliki kerapatan yang tinggi dan mampu untuk saling *Interlocking* antara agregat dan aspal yang membuat campuran lebih tahan terhadap ketahanan campuran terhadap kelembaban dan rendaman air.
6. Nilai ketahanan campuran pada uji *Cantabro Loss (CL)* pada campuran *SMA* seiring bertambahnya pasir Pantai Pandansimo sebagai pengganti agregat halus mengalami penurunan, dimana hal ini menunjukkan peningkatan campuran terhadap abrasi atau pelepasan material saat terkena beban mekanis.
7. Nilai uji *Draindown* pada campuran SMA seiring bertambahnya kadar subtitusi pasir Pantai sebagai pengganti agregat halus mengalami penurunan, dimana hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu mencegah atau meminimalisir campuran aspal terpisah dan mengalir keluar dari campuran.

6.2 Saran

1. Penggunaan pasir Pantai Pandansimo dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus pada campuran *SMA*

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan pasir Pantai Pandansimo sebagai subtitusi agregat halus pada campuran yang lain.
3. Perlu dilakukan pencucian pada agregat halus pasir Pantai untuk menghilangkan kadar garam atau kotoran yang lainnya.
4. Perlu dilakukan penyetaraan volumetrik karena perbedaan berat jenis yang jauh.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, A. F., Pradani, N., dan Batti, J. F. 2018. Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah VIATOP66 pada Campuran Stone Matrix Asphalt Terhadap Titik Lembek Aspal dan Sifat Drain Down Campuran. *Jurnal HPJI*, *4*(1), 49–58.

Akbar, S. J., Wesli, Widari, L. A., dan Munawir, K. 2019. Penggunaan Abu Batu Karang Sebagai Filler dan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Terhadap Parameter Marshall pada Campuran Aspal AC-BC. *Teras Jurnal*, *9*(2), 179–189.

Ardianti, I. M., Putra, S., dan Karami, M. 2018. Analisis Kualitas Campuran Aspal Panas Menggunakan Berbagai Macam Aspal Modifikasi. *Journal Rekayasa Sipil Dan Desain*, *1*(4), 483–494.

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.

Badan Standardisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

Bahri, S. 2017. Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas. *Inersia*, *9*(2), 39–46.

Bato'tanete, F. B., Rachman, R., dan Alpius. 2021. Characteristics of the Stone Matrix Asphalt Coarse using the Tabu River Stone North Toraja Regency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1088*(1), 012094.

Devi, U. C., dan Affandy, N. A. 2021. Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *4*(3), 533–544.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. In *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018* (pp. 1–1036).

Gasruddin, A., dan Ichwan, L. M. R. 2022. Kinerja Marshall Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Lawele Granular Asphalt (LGA) dengan Pemanfaatan Tongkol Jagung sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, *11*(2), 98–102.

Hadi, M. A., Fauziah, M., dan Subarkah. 2021. Comparative Study of Marshall Properties and Durability of Superpave and AC-WC Pavement by Using Starbit E-55 and Pen 60/70. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *933*(1).

Intari, D. E., Budiman, A., Bethary, R. T., dan Yohana, E. 2024. Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt Menggunakan Serat Selulosa Eceng Gondok. *Jurnal HPJI*, *10*(2), 119–130.

Maharani, A., dan Wasono, S. B. 2018. Perbandingan Perkerasan Kaku dan

Perkerasan Lentur (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pantai Prigi – Popoh Kab. Tulungagung). *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, *1*(2), 89–94.

Melodi, J., Robby, R., dan Salonten, S. 2021. Kajian Pengaruh Abu Batu Kapur Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC). *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, *4*(2), 180.

Muhammad, N., dan Kusumaningsih, D. 2023. Pengaruh Beban Kendaraan Terhadap Tingkat Kerusakan Jalan Sengonagung – Bakalan Pada Perkerasan Lentur (Flexible Pavement). *Kohesi: Jurnal Multidisiplin SAINTEK*, *01*(01), 80–90.

Muslimin, E., Talamati, B. H., dan Lestari, M. I. 2014. Pengaruh Kehilangan Gradasi Halus pada Spesifikasi Ream Pengujian Cantabro. Jurnal Vokasi Sains Dan Teknologi, 3(1), 1–6.

Nadhila, A. D., dan Subarkah. 2018. *Pemanfaatan Limbah Marmer sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus pada Perkerasan Lapis Aspal Beton (LASTON)*.

Nofrianto, H., dan Astika, S. D. 2023. Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Berdasarkan Uji Marshall. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, *1*(2), 53–66.

Pratama, F. Y., Aidil, A., dan Putra, S. A. 2023. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Ketapang Sebagai Agregat Halus dengan Penambahan Filler Semen Pada Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall. *SLUMP TeS*, *1*(2), 59–68.

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).

Rahman, A., Putra, S., Sulistyorini, R., dan Herianto, D. 2022. Karakteristik Uji Marshall Pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA). *JRSDD*, *10*(3), 465–478.

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

Ramadhan, G. B., dan Suparma, L. B. 2018. Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa pada Laston AC-WC sebagai Pengganti Agregat Halus. *Jurnal Himpungan Pengembangan Jalan Indonesia*, *4*(2), 91–104.

Refi, A. 2021. *Efek Pemakaian Pasir Laut Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall* (pp. 5–12).

Ruhaidani, E., Hardiani, D. P., dan Anggarini, E. 2023. Karakteristik Marshall Pada Campuran HRS-WC Menggunakan Pyrite Limbah PLTU Asam-Asam Kabupaten Tanah Laut Sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Konstruksia*, *15*(1),

159–167. https://doi.org/10.24853/jk.15.1.159-167

Rusianto, T., Wildan, M. W., Abraha, K., dan Kusmono. 2012. The Potential of Iron Sand from the Coast South of Bantul Yogyakarta as Raw Ceramic Magnet Materials. *Jurnal Teknologi*, *5*(1), 62–69.

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.

Tahir, A. 2011. Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Transportasi*, *1*(1), 27–41.

Tahir, A., Mashuri, dan Arifin, S. 2018. Karakteristik Draindown Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) yang Menggunakan Filler Abu-Batu dan Semen. In *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-21* (pp. 570–584).

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.

Thanaya, I. N. A., Ariawan, I. M. A., Yudistira, I. D. G. R., dan Widiyarta, I. M. 2022. Properties of Recycled Hot Asphalt Mixture Added with Mastic Asphalt Component. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1065*(1).

Timbonga, C. F., Alpius, dan Radjawane, L. E. 2021. Pemanfaatan Batu Gunung Limbong Kecamatan Rantepao Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar. *Paulus Civil Engineering Journal*, *3*(1), 31–39.

Triandana, M. K., Putra, S., Anugrah Mulya Putri Ofrial, S., dan Sulistyorini, R. 2022. Pengaruh Variasi Waktu Rendaman Terhadap Durabilitas Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Tambahan Arang Tempurung Kelapa sebagai Bahan Tambah pada Aspal. *JRSDD*, *10*(3), 453–464.

Triputra, M. Z., Prapsetyo, A., dan Lestari, K. 2023. Analisis Karakteristik Campuran Aspal Ditinjau dari Aspek Properties Marshall. *Teknik Sipil Pertahanan*, *10*(2), 138–152.

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, 2024

Disahkan Oleh	Mengetahui	Peneliti
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil	Kalab. Jalan Raya	
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.	Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	Nabila Salma Aulya Triyono
NIK : 01 511 0101	NIK : 21 511 1307	NIM : 20 511 256

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 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 ^{O}C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{O}C	08.35 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{O}C	08.35 WIB	
	Selesai	27 ^{O}C	09.40 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	27 ^{O}C	09.40 WIB	
	Selesai	320 ^{O}C	10.20 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	315 ^{O}C	320 ^{O}C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	315 ^{O}C	320 ^{O}C	

Yogyakarta, 2024

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

Nabila Salma Aalya Triyono
NIM : 20 511 256

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 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 ^{O}C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{O}C	08.35 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{O}C	08.35 WIB	
	Selesai	27 ^{O}C	09.40 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	5 ^{O}C	13.15 WIB	
	Selesai	49 ^{O}C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

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

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertian 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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 5 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	

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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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, 2024

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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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	1629,28	1622,42
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000	1000	1000
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1588,66	1593,13	1590,90
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,58	2,53	2,56
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,62	2,59	2,61
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,70	2,69	2,69
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,69	2,27	1,98
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,64	2,61	2,62

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertian Kashan, 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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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^{0}C	08.00 WIB	
	Selesai	150^{0}C	08.15 WIB	
2	**Didiamkan Pada Suhu Ruang**			
	Mulai	150^{0}C	08.15 WIB	
	Selesai	25^{0}C	09.45 WIB	
3	**Perendaman benda uji**			
	Mulai	25^{0}C	09.45 WIB	
	Selesai	25^{0}C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

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

Yogyakarta, 2024

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

Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kaleb Jalan Raya

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

Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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	500	500
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	709,85	691,44	700,65
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1015,90	1002,67	1009,29
4	Berat benda uji kering oven (BK)	490,10	492,30	491,20
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,53	2,61	2,57
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,58	2,65	2,61
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,66	2,72	2,69
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,02	1,56	1,79
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,59	2,66	2,63

Yogyakarta, 2024

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

Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 Pandansimo

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Pantai Pandansimo, Kab. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
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	651,89	685,60	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	984,53	1017,45	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	496,61	496,29	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,967	2,951	2,959
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,988	2,974	2,981
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	3,029	3,018	3,023
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	0,683	0,748	0,715
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,998	2,985	2,991

Yogyakarta, 2024

Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Perlian 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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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, 2024

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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 Pandansimo

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Pantai Pandansimo, Kab. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
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		3,80	3,80	3,80
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		3,90	3,90	3,90
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$		102,63	102,63	102,63
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		-2,63	-2,63	-2,63

Yogyakarta, 2024

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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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, 2024

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

Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 3280, 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 Pandansimo dengan Kadar Aspal 5%

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

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	68,59	5,26	5	1161,85	1178,9	657,45	521,4	2,228	2,406	10,601	82,03	7,369	17,97	58,99	7,37	57	828,97	0,88	733,22	2,67	274,61
0B	68,58	5,26	5	1159,18	1178,5	656,87	521,58	2,222	2,406	10,573	81,817	7,610	18,18	58,15	7,61	46	668,99	0,88	591,85	2,32	255,11
0C	68,13	5,26	5	1169,71	1185,6	663,88	521,7	2,242	2,406	10,667	82,541	6,793	17,46	61,09	6,79	44	639,90	0,89	572,18	2,45	233,54
								2,231					**17,87**	**59,41**	**7,26**				**632,42**	**2,48**	**254,42**
25A	69,10	5,26	5	1172,34	1188,18	664,78	523,4	2,240	2,416	10,656	82,043	7,301	17,96	59,34	7,30	56	814,42	0,87	712,57	2,70	263,91
25B	67,99	5,26	5	1182,12	1198,56	671,5	527,06	2,243	2,416	10,670	82,153	7,177	17,85	59,79	7,18	55	799,88	0,90	718,16	2,39	300,48
25C	69,87	5,26	5	1175,32	1189,3	667,8	521,5	2,254	2,416	10,722	82,551	6,727	17,45	61,45	6,73	48	698,08	0,86	600,78	2,20	273,08
								2,245					**17,75**	**60,19**	**7,07**				**677,17**	**2,43**	**279,16**
50A	67,30	5,26	5	1169,67	1183,51	665,15	518,36	2,256	2,427	10,735	82,238	7,027	17,76	60,44	7,03	54	785,34	0,92	718,65	1,98	362,95
50B	69,55	5,26	5	1180,92	1198,63	675,88	522,75	2,259	2,427	10,747	82,332	6,921	17,67	60,83	6,92	54	785,34	0,87	680,59	2,50	272,24
50C	68,39	5,26	5	1172,35	1185,13	667,48	517,65	2,265	2,427	10,774	82,54	6,686	17,46	61,71	6,69	48	698,08	0,89	620,11	2,62	236,68
								2,260					**17,63**	**60,99**	**6,88**				**673,12**	**2,37**	**290,62**
75A	69,78	5,26	5	1170,26	1188,69	673,56	515,13	2,272	2,438	10,808	82,383	6,809	17,62	61,35	6,81	60	872,60	0,85	743,22	2,20	337,83
75B	68,67	5,26	5	1186,1	1204,09	682,67	521,42	2,275	2,438	10,822	82,491	6,687	17,51	61,81	6,69	55	799,88	0,89	708,94	2,30	308,24
75C	69,20	5,26	5	1181,35	1200,34	680,67	519,67	2,273	2,438	10,815	82,437	6,748	17,56	61,58	6,75	53	770,79	0,87	669,43	2,56	261,50
								2,273					**17,56**	**61,58**	**6,75**				**707,20**	**2,35**	**302,52**
100A	69,58	5,26	5	1178,66	1199,02	683,17	515,85	2,285	2,449	10,870	82,448	6,682	17,55	61,93	6,68	58	843,51	0,87	730,76	2,10	347,98
100B	68,19	5,26	5	1168,71	1185,2	673,65	511,55	2,285	2,449	10,869	82,439	6,692	17,56	61,89	6,69	64	930,77	0,89	832,23	2,47	336,94
100C	69,20	5,26	5	1186,87	1204,67	686,18	518,49	2,289	2,449	10,890	82,599	6,511	17,40	62,58	6,51	57	828,97	0,87	723,84	2,42	299,11
								2,286					**17,50**	**62,14**	**6,63**				**762,28**	**2,33**	**328,01**

Diperiksa 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

Nabila Salma Aulya Trysono
NIM : 20 511 256

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

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

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 (%)	Mess		Korelasi	Stabilitas (kg)	Flow (mm	MQ (Kg/mm)
0A	70,33	5,82	5,5	1179,89	1195,5	663,8	531,7	2,219	2,389	11,613	81,263	7,124	18,74	61,98	7,12	60	872,60	0,85	742,99	2,49	298,39
0B	69,37	5,82	5,5	1179,5	1194,6	665,44	529,15	2,229	2,389	11,665	81,628	6,707	18,37	63,49	6,71	56	814,42	0,87	708,45	2,88	245,99
0C	69,84	5,82	5,5	1184,7	1201,3	676,78	524,56	2,258	2,389	11,819	82,705	5,476	17,29	68,34	5,48	52	756,25	0,81	613,13	2,24	273,72
								2,236					**18,13**	**64,60**	**6,44**				**688,19**	**2,54**	**272,70**
25A	71,40	5,82	5,5	1160,38	1174,82	658,6	516,22	2,248	2,400	11,763	81,902	6,335	18,10	65,00	6,33	55	799,88	0,83	663,90	2,49	266,63
25B	67,74	5,82	5,5	1181,56	1198,96	672,92	526,04	2,246	2,400	11,754	81,84	6,406	18,16	64,73	6,41	59	858,05	0,90	775,68	2,54	305,39
25C	68,92	5,82	5,5	1172,07	1187,7	666,5	521,2	2,249	2,400	11,768	81,937	6,295	18,06	65,15	6,30	63	916,23	0,88	804,73	2,54	316,82
								2,248					**18,11**	**64,96**	**6,35**				**748,10**	**2,52**	**296,28**
50A	68,50	5,82	5,5	1158,55	1174,5	660,45	514,05	2,254	2,410	11,794	81,707	6,499	18,29	64,47	6,50	64	930,77	0,89	824,95	2,62	314,87
50B	68,38	5,82	5,5	1180,41	1198,86	678,33	520,53	2,268	2,410	11,867	82,212	5,921	17,79	66,72	5,92	61	887,14	0,89	788,28	2,36	334,02
50C	70,33	5,82	5,5	1170,38	1186,92	670,97	515,95	2,268	2,410	11,871	82,237	5,892	17,76	66,83	5,89	55	799,88	0,85	681,02	2,43	280,25
								2,263					**17,95**	**66,01**	**6,10**				**764,75**	**2,47**	**309,71**
75A	69,10	5,82	5,5	1166,45	1181,96	672,21	509,75	2,288	2,421	11,975	82,545	5,480	17,46	68,60	5,48	56	814,42	0,86	701,42	2,05	342,16
75B	67,07	5,82	5,5	1166,56	1185,06	673,7	511,36	2,281	2,421	11,938	82,293	5,769	17,71	67,42	5,77	64	930,77	0,92	851,65	2,60	327,56
75C	68,57	5,82	5,5	1176,1	1195,21	679,37	515,84	2,280	2,421	11,931	82,245	5,824	17,76	67,20	5,82	61	887,14	0,90	797,32	2,68	297,51
								2,283					**17,64**	**67,74**	**5,69**				**783,46**	**2,44**	**322,41**
100A	67,99	5,82	5,5	1161,19	1182,68	676,81	505,87	2,295	2,431	12,012	82,392	5,595	17,61	68,22	5,60	67	974,40	0,90	874,77	2,14	408,77
100B	68,61	5,82	5,5	1176,14	1190,1	679,5	510,6	2,303	2,431	12,054	82,68	5,266	17,32	69,60	5,27	60	872,60	0,88	771,59	2,68	287,91
100C	68,35	5,82	5,5	1187,58	1203,52	686,78	516,74	2,298	2,431	12,027	82,492	5,481	17,51	68,69	5,48	61	887,14	0,89	788,67	2,38	331,37
								2,299					**17,48**	**68,84**	**5,45**				**811,67**	**2,40**	**342,68**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hedian Rochim, 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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulia Triyono
NIM : 20 511 256

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

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

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 (%)	Mens		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm	MQ (Kg/mm)
0A	69,79	6,38	6	1174,16	1190,9	665,89	524,98	2,237	2,373	12,785	81,47	5,744	18,53	69,00	5,74	57	828,97	0,86	714,57	2,3	310,68
0B	69,54	6,38	6	1164,46	1184,2	662,89	521,29	2,234	2,373	12,769	81,369	5,861	18,63	68,54	5,86	60	872,60	0,89	777,09	2,96	262,53
0C	67,71	6,38	6	1195,37	1208,2	677,95	530,27	2,254	2,373	12,886	82,115	4,999	17,89	72,05	5,00	55	799,88	0,90	723,69	2,47	292,99
								2,242					**18,35**	**69,86**	**5,53**				**738,45**	**2,58**	**288,74**
25A	69,24	6,38	6	1176,78	1190,55	670,16	520,39	2,261	2,383	12,927	81,958	5,115	18,04	71,65	5,12	63	916,23	0,87	799,35	2,48	322,32
25B	69,03	6,38	6	1184,8	1198,25	675,23	523,02	2,265	2,383	12,950	82,102	4,949	17,90	72,35	4,95	56	814,42	0,88	713,64	2,51	284,32
25C	67,85	6,38	6	1171,21	1187,72	667,76	519,96	2,253	2,383	12,876	81,637	5,486	18,36	70,12	5,49	59	858,05	0,90	773,39	2,62	295,19
								2,260					**18,10**	**71,37**	**5,18**				**762,13**	**2,54**	**300,61**
50A	68,55	6,38	6	1149,85	1167,52	657,84	509,68	2,256	2,394	12,896	81,356	5,748	18,64	69,17	5,75	63	916,23	0,89	811,15	2,38	340,82
50B	66,80	6,38	6	1193,52	1214,3	690,28	524,02	2,278	2,394	13,020	82,135	4,845	17,87	72,88	4,85	60	872,60	0,93	809,26	2,47	327,64
50C	66,91	6,38	6	1169,7	1189,98	678,34	511,64	2,286	2,394	13,069	82,443	4,488	17,56	74,44	4,49	56	814,42	0,92	753,20	2,58	291,94
								2,273					**18,02**	**72,16**	**5,03**				**791,20**	**2,48**	**320,13**
75A	67,84	6,38	6	1166,92	1185,56	676,16	509,4	2,291	2,404	13,095	82,197	4,707	17,80	73,56	4,71	65	945,31	0,90	847,47	2,62	323,46
75B	68,44	6,38	6	1173,46	1190,6	678,63	511,97	2,292	2,404	13,102	82,243	4,654	17,76	73,79	4,65	63	916,23	0,90	825,06	2,35	351,09
75C	67,21	6,38	6	1174,63	1192,92	681,58	511,34	2,297	2,404	13,132	82,427	4,442	17,57	74,72	4,44	62	901,68	0,90	810,31	2,41	336,23
								2,293					**17,71**	**74,02**	**4,60**				**827,61**	**2,46**	**336,93**
100A	69,45	6,38	6	1156,06	1178,86	670,07	508,79	2,272	2,414	12,989	81,126	5,885	18,87	68,82	5,89	68	988,94	0,87	858,77	2,30	373,38
100B	67,16	6,38	6	1145,47	1162,85	667,52	495,33	2,313	2,414	13,220	82,567	4,213	17,43	75,83	4,21	62	901,68	0,92	828,12	2,42	342,20
100C	70,81	6,38	6	1174,5	1190,64	688,51	502,13	2,339	2,414	13,371	83,513	3,116	16,49	81,10	3,12	72	1047,11	0,84	881,53	2,56	344,35
								2,308					**17,60**	**75,25**	**4,40**				**856,14**	**2,43**	**353,31**

Diketahui Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Meilida Kastuti, 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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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

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

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 (%)	Mess		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0A	70,17	6,95	6,5	1183,48	1197,9	674,6	523,31	2,262	2,357	14,005	81,941	4,054	18,06	77,55	4,05	60	872,60	0,85	745,72	2,65	281,40
0B	69,61	6,95	6,5	1181,36	1199,9	672,54	527,35	2,240	2,357	13,873	81,168	4,959	18,83	73,67	4,96	53	770,79	0,87	667,07	2,55	261,60
0C	67,12	6,95	6,5	1160,07	1173,3	654,55	518,73	2,236	2,357	13,849	81,029	5,121	18,97	73,00	5,12	56	814,42	0,92	748,93	2,61	286,95
								2,246					**18,62**	**74,74**	**4,71**				**720,57**	**2,60**	**276,65**
25A	69,70	6,95	6,5	1176,3	1196,97	675,49	521,48	2,256	2,367	13,969	81,318	4,712	18,68	74,78	4,71	58	843,51	0,86	728,58	2,77	263,03
25B	69,32	6,95	6,5	1182,53	1199,65	678,2	521,45	2,268	2,367	14,044	81,754	4,202	18,25	76,97	4,20	61	887,14	0,87	772,64	2,52	306,60
25C	70,14	6,95	6,5	1176,22	1194,65	676,27	518,38	2,269	2,367	14,052	81,799	4,149	18,20	77,20	4,15	56	814,42	0,86	696,49	2,44	285,45
								2,264					**18,38**	**76,32**	**4,35**				**732,57**	**2,58**	**285,03**
50A	68,68	6,95	6,5	1182,5	1199,31	680,75	518,56	2,280	2,377	14,122	81,796	4,082	18,20	77,57	4,08	61	887,14	0,86	766,38	2,25	340,61
50B	67,72	6,95	6,5	1177,65	1198,06	678,48	519,58	2,267	2,377	14,036	81,3	4,663	18,70	75,06	4,66	53	770,79	0,87	671,31	2,75	244,11
50C	70,17	6,95	6,5	1172,51	1189,15	677,62	511,53	2,292	2,377	14,195	82,219	3,586	17,78	79,83	3,59	65	945,31	0,85	807,93	2,61	309,55
								2,280					**18,23**	**77,49**	**4,11**				**748,54**	**2,54**	**298,09**
75A	69,61	6,95	6,5	1167,53	1180,95	668,7	512,25	2,279	2,388	14,115	81,348	4,537	18,65	75,67	4,54	64	930,77	0,89	824,31	2,47	333,73
75B	69,20	6,95	6,5	1181,96	1192,1	676,7	515,4	2,293	2,388	14,202	81,85	3,948	18,15	78,25	3,95	58	843,51	0,87	737,28	2,68	275,10
75C	69,90	6,95	6,5	1187,37	1198,16	682,85	515,31	2,304	2,388	14,269	82,239	3,492	17,76	80,34	3,49	61	887,14	0,86	763,94	2,38	320,98
								2,292					**18,19**	**78,09**	**3,99**				**775,18**	**2,51**	**309,94**
100A	69,94	6,95	6,5	1180,16	1193,42	689,8	503,62	2,343	2,398	14,512	83,222	2,266	16,78	86,50	2,27	67	974,40	0,86	837,27	2,46	340,35
100B	69,94	6,95	6,5	1185,56	1194,62	680,46	514,16	2,306	2,398	14,280	81,889	3,831	18,11	78,85	3,83	60	872,60	0,86	749,73	2,70	277,68
100C	68,69	6,95	6,5	1174,15	1187,3	668,95	518,35	2,265	2,398	14,028	80,446	5,527	19,55	71,74	5,53	63	916,23	0,88	808,80	2,25	359,47
								2,305					**18,15**	**79,03**	**3,87**				**798,60**	**2,47**	**325,83**

Disahkan Oleh :
Manager Laboratorium Fakultas Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kaleb. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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

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

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 (%)	Mean		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm	MQ (Kg/mm)
0A	69,06	7,53	7	1170,82	1183,8	665,4	518,4	2,258	2,341	15,062	81,393	3,545	18,61	80,95	3,54	56	814,42	0,88	713,18	2,8	254,71
0B	69,77	7,53	7	1179,29	1190,4	667,65	522,74	2,256	2,341	15,046	81,303	3,652	18,70	80,47	3,65	53	770,79	0,86	664,71	2,6	255,66
0C	69,91	7,53	7	1179,86	1191,7	666,96	524,73	2,249	2,341	14,996	81,034	3,971	18,97	79,07	3,97	57	828,97	0,86	712,69	2,68	265,93
								2,254					**18,76**	**80,16**	**3,72**				**696,86**	**2,69**	**258,76**
25A	68,12	7,53	7	1184,36	1195,86	672,24	523,62	2,262	2,351	15,085	81,105	3,810	18,90	79,84	3,81	54	785,34	0,89	701,55	2,97	236,21
25B	69,12	7,53	7	1179,53	1187,16	667,27	519,89	2,269	2,351	15,131	81,354	3,515	18,65	81,15	3,52	58	843,51	0,87	737,81	2,48	297,50
25C	68,03	7,53	7	1182,14	1200,22	680,62	519,6	2,275	2,351	15,173	81,579	3,248	18,42	82,37	3,25	52	756,25	0,90	678,10	2,48	273,43
								2,269					**18,65**	**81,12**	**3,52**				**705,82**	**2,64**	**269,05**
50A	70,10	7,53	7	1194,97	1205,05	681,25	523,8	2,281	2,361	15,215	81,394	3,391	18,61	81,77	3,39	50	727,16	0,86	622,45	2,15	289,51
50B	67,39	7,53	7	1181,57	1195,25	677,41	517,84	2,282	2,361	15,217	81,407	3,375	18,59	81,85	3,38	59	858,05	0,91	783,26	2,93	267,32
50C	67,11	7,53	7	1166,09	1182,8	670,34	512,46	2,275	2,361	15,176	81,184	3,640	18,82	80,65	3,64	58	843,51	0,92	775,89	2,77	280,10
								2,280					**18,67**	**81,42**	**3,47**				**727,20**	**2,62**	**278,98**
75A	66,29	7,53	7	1174,07	1186,69	674,8	511,89	2,294	2,371	15,296	81,423	3,280	18,58	82,34	3,28	53	770,79	0,93	716,13	2,50	286,45
75B	67,77	7,53	7	1170,54	1182,71	671,56	511,15	2,290	2,371	15,273	81,296	3,431	18,70	81,65	3,43	57	828,97	0,93	771,01	2,84	271,48
75C	67,77	7,53	7	1165,64	1176,14	667,81	508,33	2,293	2,371	15,293	81,405	3,302	18,60	82,24	3,30	60	872,60	0,89	776,50	2,44	318,24
								2,292					**18,63**	**82,08**	**3,34**				**754,55**	**2,59**	**292,06**
100A	67,83	7,53	7	1174	1182,4	673,72	508,68	2,308	2,381	15,392	81,526	3,082	18,47	83,32	3,08	62	901,68	0,90	813,02	2,57	316,35
100B	66,29	7,53	7	1175,43	1186,68	677,5	509,18	2,308	2,381	15,396	81,545	3,059	18,45	83,42	3,06	57	828,97	0,93	770,94	2,67	288,74
100C	66,29	7,53	7	1170	1183,14	675,4	507,74	2,304	2,381	15,368	81,399	3,233	18,60	82,62	3,23	55	799,88	0,94	750,09	2,33	321,93
								2,307					**18,51**	**83,12**	**3,12**				**778,01**	**2,52**	**309,01**

Diperiksa Oleh
Manajer Laboratorium Fakultas Teknik Sipil

Ir. Badrus Sholihin, 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

Nabila Salma Aulya Tryono
NIM : 20 511 256

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 20 Rekap Pengujian *Marshall*

HASIL REKAP PENGUJIAN *MARSHALL*

	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	632,42	2,48	254,42	7,26	59,41	17,87	2,23
0	688,19	2,54	272,70	6,44	64,60	18,13	2,24
0	738,45	2,577	288,735	5,552	69,770	18,349	2,242
0	720,57	2,60	276,65	4,73	74,64	18,62	2,26
0	696,86	2,69	258,76	3,74	80,05	18,76	2,25
Spesifikasi	**600**	**>2-,5**	**>200**	**>3,0-5,0**	**>76**	**>17**	**>2**

J	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
25	677,17	2,43	279,16	7,07	60,19	17,75	2,25
25	748,10	2,52	296,28	6,35	64,96	18,11	2,25
25	762,13	2,54	300,61	5,20	71,28	18,10	2,26
25	732,57	2,58	285,03	4,37	76,21	18,38	2,26
25	705,82	2,64	269,05	3,54	81,01	18,65	2,27
Spesifikasi	**600**	**>2-,5**	**>200**	**>3,0-5,0**	**>76**	**>17**	**>2**

	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
50	673,12	2,37	290,62	6,88	60,99	17,63	2,26
50	764,75	2,47	309,71	6,10	66,01	17,95	2,26
50	791,20	2,48	320,13	4,72	72,07	18,02	2,27
50	748,54	2,54	298,09	4,13	77,39	18,23	2,29
50	727,20	2,62	278,98	3,49	81,32	18,67	2,28
Spesifikasi	**600**	**>2-,5**	**>200**	**>3,0-5,0**	**>76**	**>17**	**>2**

	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
75	707,20	2,35	302,52	6,75	61,58	17,56	2,27
75	783,46	2,44	322,41	5,69	67,74	17,64	2,28
75	827,61	2,46	336,93	4,46	73,92	17,71	2,29
75,00	775,18	2,51	309,94	4,01	77,98	18,19	2,29
75	754,55	2,59	292,06	3,36	81,56	18,63	2,29
Spesifikasi	**600**	**>2-4**	**>250**	**>3,0-5,0**	**>76**	**>17**	**>2**

	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
100	762,28	2,33	328,01	6,63	62,14	17,50	2,29
100	811,67	2,40	342,68	5,27	68,84	17,48	2,30
100	856,14	2,43	353,31	4,42	75,15	17,60	2,31
100	798,60	2,47	325,83	3,89	78,92	18,15	2,31
100	778,01	2,52	309,01	3,15	81,60	18,51	2,31
Spesifikasi	**600**	**>2-,5**	**>200**	**>3,0-5,0**	**>76**	**>17**	**>2**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertian 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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aalya Triyono
NIM : 20 511 256

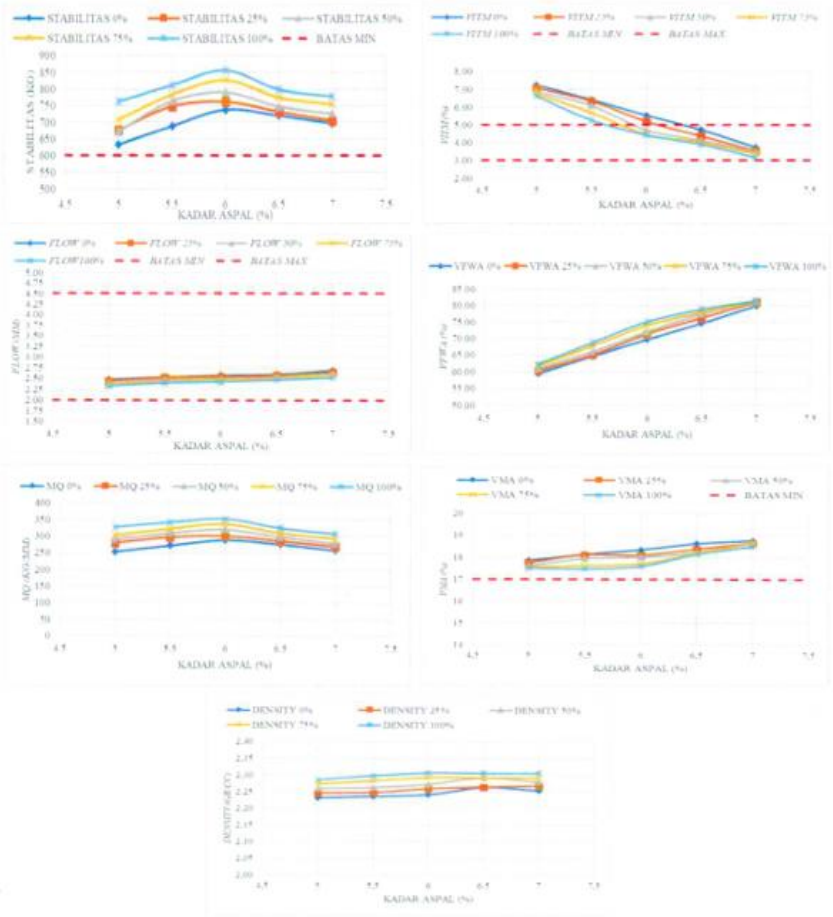
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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
Manajer Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil

Ir. Herman 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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 22 Hasil Pengujian *Marshall* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *MARSHALL* DARI HASIL KAO

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 (%)	Mess		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm	MQ (Kg/mm)
0A	68,30	7,28	6,79	1178,39	1190,8	665,47	525,33	2,243	2,348	14,492	81,023	4,485	18,98	76,36	4,49	60	872,60	0,90	785,34	3,18	246,96
0B	68,91	7,28	6,79	1164,7	1175,2	655,86	519,38	2,242	2,348	14,488	80,999	4,514	19,00	76,25	4,51	64	930,77	0,88	817,80	2,75	297,38
0C	69,46	7,28	6,79	1174,65	1189,0	664,88	524,1	2,241	2,348	14,480	80,955	4,565	19,04	76,03	4,57	53	770,79	0,87	669,24	3,1	215,88
								2,242					**19,01**	**76,21**	**4,52**				**757,46**	**3,01**	**253,41**
25A	69,23	7,22	6,73	1177,81	1189,28	667,69	521,59	2,258	2,360	14,460	81,205	4,335	18,79	76,94	4,33	54	785,34	0,87	685,21	2,60	263,54
25B	67,22	7,22	6,73	1186,64	1199,9	675,27	524,63	2,262	2,360	14,484	81,34	4,176	18,66	77,62	4,18	60	872,60	0,92	800,17	3,25	246,21
25C	67,61	7,22	6,73	1185,15	1196,34	672,78	523,56	2,264	2,360	14,495	81,404	4,101	18,60	77,95	4,10	65	945,31	0,91	857,71	2,60	329,89
								2,261					**18,68**	**77,50**	**4,20**				**781,03**	**2,82**	**279,88**
50A	69,09	7,16	6,68	1164,95	1180,66	668,97	511,69	2,277	2,372	14,470	81,507	4,023	18,49	78,24	4,02	53	770,79	0,88	674,54	3,70	182,31
50B	66,81	7,16	6,68	1169,13	1179,84	667,29	512,55	2,281	2,372	14,498	81,662	3,841	18,34	79,06	3,84	66	959,85	0,93	890,03	1,94	458,78
50C	65,74	7,16	6,68	1172,15	1184,5	670,12	514,38	2,279	2,372	14,483	81,581	3,935	18,42	78,64	3,94	70	1018,03	0,95	965,03	2,40	402,09
								2,279					**18,42**	**78,65**	**3,93**				**843,20**	**2,68**	**347,73**
75A	66,60	7,07	6,6	1169,28	1181,75	674,28	507,47	2,304	2,385	14,469	82,149	3,381	17,85	81,06	3,38	59	858,05	0,94	807,53	2,80	288,41
75B	66,95	7,07	6,6	1169,55	1182,57	673,36	509,21	2,297	2,385	14,423	81,887	3,689	18,11	79,63	3,69	74	1076,20	0,92	988,13	1,83	539,96
75C	65,95	7,07	6,6	1178,21	1187,54	676,28	511,26	2,305	2,385	14,472	82,163	3,365	17,84	81,13	3,37	66	959,85	0,95	908,80	3,08	295,07
								2,302					**17,93**	**80,61**	**3,48**				**901,49**	**2,57**	**374,48**
100A	65,15	7,00	6,54	1175,71	1188,25	681,29	506,96	2,319	2,397	14,431	82,327	3,242	17,67	81,66	3,24	64	930,77	0,96	892,72	2,67	334,35
100B	66,74	7,00	6,54	1166,92	1179,64	675,98	503,66	2,317	2,397	14,417	82,247	3,336	17,75	81,21	3,34	75	1090,74	0,93	1013,21	2,20	460,55
100C	65,36	7,00	6,54	1178,9	1190,7	683,15	507,55	2,323	2,397	14,454	82,454	3,092	17,55	82,38	3,09	71	1032,57	0,96	986,17	2,46	400,88
								2,320					**17,66**	**81,75**	**3,22**				**964,03**	**2,44**	**398,60**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Mate Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

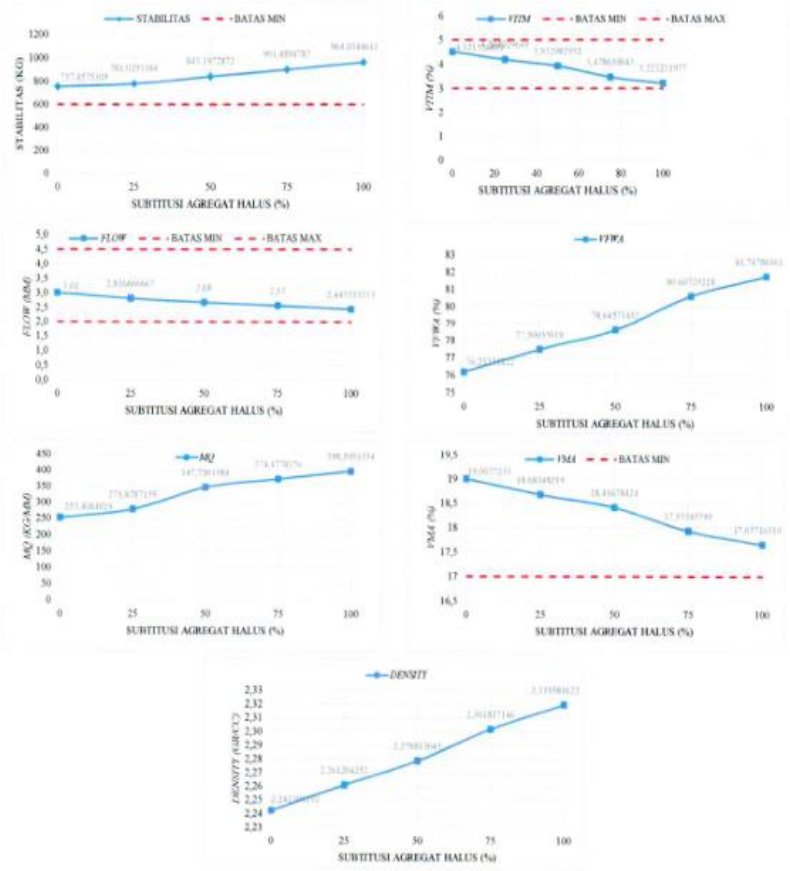
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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. Bachtiar Kusbari, 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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 24 Hasil Terhadap Pengujian *IRS* 24 Jam dengan KAO

HASIL PENGUJIAN *IRS* 24 JAM DARI HASIL KAO

VARIASI SUBTITUSI			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	MIN
PEN 60/70	0	1	70,36	68,26	70,17	69,60	0,86	1170,03	661,18	1180,12	53	32,03	1697,78	328	2,70	666,07	683,50	600
		2	70,45	69,65	69,8	69,97	0,86	1174,89	664,36	1185,26	58	32,03	1857,95	270		723,65		
		3	68,79	68,15	67,76	68,23	0,89	1180,83	669,37	1191,6	51	32,03	1633,71	213		660,77		
	25	1	69,35	69,78	70,08	69,74	0,86	1182,42	665,25	1191,6	57	32,03	1825,92	180	2,50	714,82	720,97	600
		2	68,45	67,97	67,94	68,12	0,89	1167,5	657,59	1175,72	55	32,03	1761,85	250		714,86		
		3	67,71	66,15	67,74	67,20	0,92	1183,56	666,12	1186,4	55	32,03	1761,85	320		733,24		
	50	1	67,8	67,39	68,32	67,84	0,90	1176,81	665,63	1182,49	57	32,03	1825,92	280	2,43	746,72	786,10	600
		2	66,93	66,31	65,09	66,11	0,94	1174,32	663,5	1181,14	60	32,03	1922,02	230		820,44		
		3	66,3	66,6	65,8	66,23	0,94	1183,69	668,02	1187,9	58	32,03	1857,95	220		791,15		
	75	1	66,2	67,35	66,69	66,75	0,93	1179,39	665,77	1188,79	65	32,03	2082,18	240	2,23	877,26	857,26	600
		2	66,22	66,04	65,79	66,02	0,94	1171,99	648,3	1179,16	63	32,03	2018,12	170		863,07		
		3	67,3	66,7	66,95	66,98	0,92	1179,97	666,22	1182,42	62	32,03	1986,08	260		831,44		
	100	1	66,12	66,11	66,52	66,25	0,94	1169,1	661,09	1174,85	67	32,03	2146,25	225	2,12	913,61	931,83	600
		2	65,75	66,98	66,41	66,38	0,94	1167,74	659,77	1172,63	70	32,03	2242,35	200		952,03		
		3	65,78	66,43	66,12	66,11	0,94	1179,43	668,48	1182,93	68	32,03	2178,28	210		929,84		

Yogyakarta, 2024

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

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

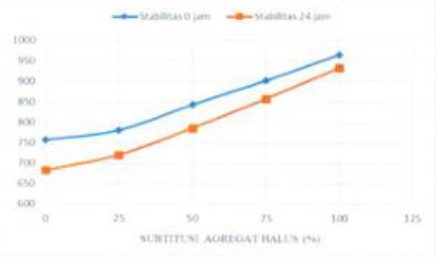
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

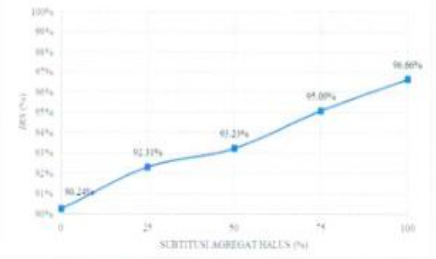
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 25 Rekap Pengujian *IRS*

HASIL REKAP PENGUJIAN *IRS*

Variasi Subtitusi (%)	Stabilitas 0 jam	Stabilitas 24 jam	IRS
0	757,46	683,50	90,24%
25	781,03	720,97	92,31%
50	843,20	786,10	93,23%
75	901,49	857,26	95,09%
100	964,03	931,83	96,66%





Diajukan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Burlian Kusbiri, 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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 26 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *ITS* DARI HASIL KAO

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				Koreksi	Diameter Sampel (inch)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM Kpa		
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mean	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	awal	rata2	MIN
PEN 60/70	0,0%	1	70,14	69,86	69,59	69,86	0,89	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	59	14,54	858,05	346,40	328,06	600	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	758,53	709,63	600
		2	72	71,04	72,81	71,95	0,82	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	61	14,54	887,14	331,23			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	704,28		
		3	70,53	68,84	71,32	70,23	0,88	4,01	4,01	4,01	4,01	0,16	53	14,54	770,79	306,56			69,9	71,4	0,89	0,83	4	4,1	0,156	0,152	666,07		
	25,0%	1	70,17	71	70,65	70,61	0,86	3,99	3,99	3,99	3,99	0,16	59	14,54	858,05	335,40	347,15	600	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	728,57	754,67	600
		2	71,68	72	71,95	71,88	0,82	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	64	14,54	930,77	347,91			71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	740,49		
		3	70,43	69,94	69,05	69,81	0,89	3,95	3,95	3,95	3,95	0,16	61	14,54	887,14	358,14			68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	794,94		
	50,0%	1	70	67,51	69,4	68,97	0,89	4,04	4,04	4,04	4,04	0,15	63	14,54	916,23	369,88	376,46	600	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	812,03	831,36	600
		2	68,16	68,24	67,75	68,05	0,90	4,05	4,05	4,05	4,05	0,15	65	14,54	945,31	384,31			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	852,88		
		3	70,77	68,86	70,17	69,93	0,89	3,96	3,96	3,96	3,96	0,16	64	14,54	930,77	375,19			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	829,17		
	75,0%	1	67,74	69,8	68,68	68,74	0,89	3,95	3,95	3,95	3,95	0,16	63	14,54	916,23	369,88	386,60	600	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	833,75	874,62	600
		2	67,45	67,75	67,26	67,49	0,92	4,02	4,02	4,02	4,02	0,16	64	14,54	930,77	388,49			66,7	69,9	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	876,14		
		3	67,09	66,81	67,16	67,02	0,92	4,01	4,03	4,01	4,01	0,16	66	14,54	959,85	401,43			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	913,98		
	100,0%	1	65,75	68,14	66,84	66,91	0,92	4,05	4,05	4,05	4,05	0,15	63	14,54	916,23	384,33	402,42	600	66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	867,46	918,34	600
		2	66,43	66,54	66,22	66,40	0,94	4,05	4,05	4,05	4,05	0,15	66	14,54	959,85	407,39			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	926,63		
		3	66,23	65,89	66,35	66,16	0,94	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	67	14,54	974,40	415,55			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	960,94		

Disahkan Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kepala Laboratorium

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Nabila Salma Auliya Triyono
NIM : 20 511 256

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 27 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *TSR* DARI HASIL KAO

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal Sampel		Angka Koreksi Koreksi		Angka Koreksi Tebal Sampel		Angka Koreksi Koreksi		ITS 24 JAM kpa		
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mesin	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
PEN 60/70	0,0%	1	72,40	72,30	73,10	72,60	0,82	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	50	14,80	740,09	273,60	299,06	600	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,16	576,53	642,57	600
		2	72,20	71,10	70,70	71,33	0,83	3,95	3,95	3,95	3,95	0,16	55	14,80	814,10	307,48			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,16	667,90		
		3	71,50	71,02	70,88	71,13	0,84	3,98	3,98	3,98	3,98	0,16	56	14,80	828,90	316,08			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,16	683,27		
	25,0%	1	71,89	71,20	70,50	71,20	0,84	3,99	3,99	3,99	3,99	0,16	56	14,80	828,90	315,13	322,59	600	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,16	678,87	696,15	600
		2	71,90	70,30	71,90	71,37	0,83	3,94	3,94	3,94	3,94	0,16	59	14,80	873,31	329,32			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,16	716,80		
		3	71,25	70,69	71,15	71,03	0,84	4,02	4,02	4,02	4,02	0,16	57	14,80	843,71	323,31			69,9	71,4	0,89	0,83	4	4,1	0,16	0,15	692,77		
	50,0%	1	70,50	70,20	70,80	70,50	0,87	4,02	4,02	4,02	4,02	0,16	59	14,80	873,31	343,05	356,77	600	69,9	71,4	0,89	0,83	4	4,1	0,16	0,15	740,60	772,46	600
		2	71,20	70,89	71,10	71,06	0,84	3,97	3,97	3,97	3,97	0,16	62	14,80	917,71	351,11			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,16	761,69		
		3	69,80	68,10	69,10	69,00	0,89	4,03	4,03	4,03	4,03	0,15	62	14,80	917,71	370,49			68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,16	0,15	815,10		
	75,0%	1	69,10	68,20	67,90	68,40	0,89	4,04	4,04	4,04	4,04	0,15	62	14,80	917,71	370,49	370,82	600	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,16	0,15	820,13	821,43	600
		2	70,80	69,10	69,10	69,67	0,89	4,01	4,01	4,01	4,01	0,16	64	14,80	947,32	382,44			68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,16	0,15	837,65		
		3	67,40	69,20	68,00	68,20	0,89	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	60	14,80	888,11	359,54			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,16	0,15	806,51		
	100,0%	1	68,10	66,90	67,60	67,53	0,91	3,96	3,96	3,96	3,96	0,16	63	14,80	932,52	384,57	379,38	600	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,16	880,10	870,19	600
		2	67,23	69,85	68,25	68,44	0,89	3,95	3,95	3,95	3,95	0,16	64	14,80	947,32	382,44			68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,16	865,78		
		3	66,20	66,80	66,00	66,33	0,94	3,96	3,96	3,96	3,96	0,16	59	14,80	873,31	371,13			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,16	864,70		

Diperiksa/Oleh
Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui,
Kabib. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Penulis

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM. 20 511 256

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

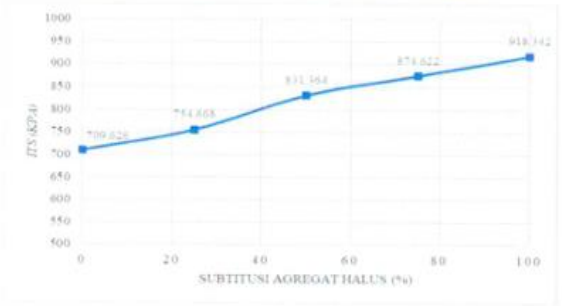
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

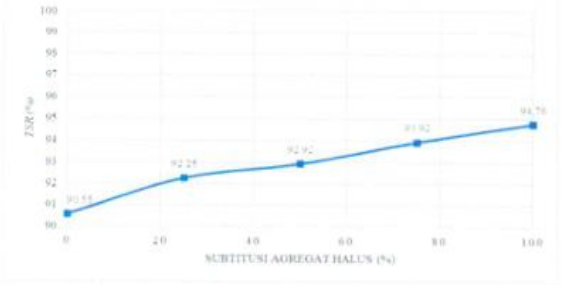
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 28 Rekap Pengujian *ITS* dan *TSR*

HASIL REKAP PENGUJIAN *ITS* DAN *TSR*

Variasi Substitusi (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	709,626	642,568	90,55
25	754,668	696,146	92,25
50	831,364	772,463	92,92
75	874,622	821,431	93,92
100	918,342	870,194	94,76





Diajukan 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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 *Draindown* dari Hasil KAO

HASIL PENGUJIAN *DRAINDOWN* DARI HASIL KAO

Kadar Aspal (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1528,46	1532,21	1534,55
	2	Berat Benda Uji	1185,28	1187,13	1188,54
	3	Berat Awal Piring Penampung	343,18	345,08	346,01
	4	Berat Akhir Piring Penampung	344,38	346,12	347,02
	5	Draindown	0,101%	0,09%	0,08%
	6	Rata-Rata Draindown	0,09		
25,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1533,49	1502,47	1503,87
	2	Berat Benda Uji	1188,07	1164,32	1169,82
	3	Berat Awal Piring Penampung	345,42	338,15	334,05
	4	Berat Akhir Piring Penampung	345,97	339,02	335,18
	5	Draindown	0,046%	0,07%	0,10%
	6	Rata-Rata Draindown	0,073		
50,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1510,27	1527,22	1378,56
	2	Berat Benda Uji	1160,02	1196,95	1186,26
	3	Berat Awal Piring Penampung	350,25	330,27	192,30
	4	Berat Akhir Piring Penampung	351,29	330,96	193,03
	5	Draindown	0,09%	0,06%	0,06%
	6	Rata-Rata Draindown	0,070		
75,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1518,18	1515,18	1524,95
	2	Berat Benda Uji	1171,58	1164,74	1176,64
	3	Berat Awal Piring Penampung	346,60	350,44	348,31
	4	Berat Akhir Piring Penampung	347,20	351,35	348,50
	5	Draindown	0,05%	0,08%	0,02%
	6	Rata-Rata Draindown	0,048		
100,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1512,30	1507,15	1519,71
	2	Berat Benda Uji	1172,18	1162,64	1189,04
	3	Berat Awal Piring Penampung	340,12	344,51	330,67
	4	Berat Akhir Piring Penampung	340,90	345,02	330,87
	5	Draindown	0,07%	0,04%	0,02%
	6	Rata-Rata Draindown	0,042		

Diperiksa 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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

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 30 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	Kehilangan
0	1	1181,39	1090,11	91,28	7,7265	7,41
	2	1178,21	1122,02	56,19	4,7691	
	3	1169,55	1055,63	113,92	9,7405	
25	1	1179,81	1065,05	114,76	9,7270	7,32
	2	1174,65	1046,4	128,25	10,9181	
	3	1169,13	1153,79	15,34	1,3121	
50	1	1166,92	1119,08	47,84	4,0997	5,76
	2	1172,15	1043,82	128,33	10,9483	
	3	1178,21	1151,89	26,32	2,2339	
75	1	1186,64	1139,78	46,86	3,9490	3,47
	2	1169,28	1140,92	28,36	2,4254	
	3	1164,95	1117,83	47,12	4,0448	
100	1	1185,15	1114,72	70,43	5,9427	2,96
	2	1178,9	1168,92	9,98	0,8466	
	3	1175,71	1151,3	24,41	2,0762	

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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

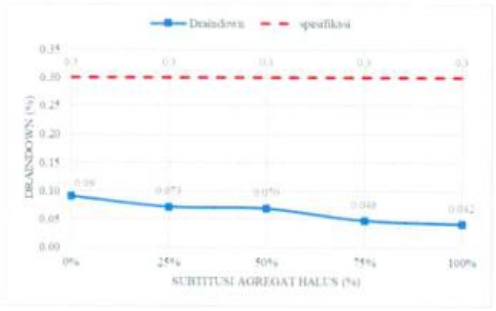
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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 31 Rekap Pengujian *Draindown*

HASIL REKAP PENGUJIAN *DRAINDOWN*

Variasi Subtitusi (%)	DD (%)
0	0,09
25	0,073
50	0,070
75	0,048
100	0,042



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, 2024
Peneliti

Nabila Salma Aulya Triyono
NIM : 20 511 256

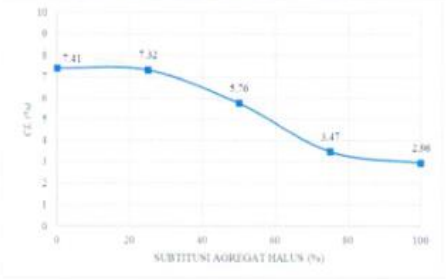
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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 32 Rekap Pengujian *Cantabro Loss*

Subtituai Pasir Pantai (%)	*CL (%)*
0	7,41
25	7,32
50	5,76
75	3,47
100	2,96



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kaleb Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Nabila Salma Atiya Triyono
NIM : 20 511 256

Lampiran 33 Uji Normalitas pada Analisis Statistik *ANOVA*

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Variasi Agregat Halus	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Stabilitas	0%	.343	3	.	.842	3	.220
	25%	.253	3	.	.964	3	.637
	50%	.289	3	.	.928	3	.480
	75%	.199	3	.	.995	3	.866
	100%	.304	3	.	.908	3	.412
Flow	0%	.320	3	.	.884	3	.336
	25%	.301	3	.	.912	3	.424
	50%	.287	3	.	.929	3	.486
	75%	.304	3	.	.908	3	.411
	100%	.195	3	.	.996	3	.883
VITM	0%	.292	3	.	.923	3	.463
	25%	.246	3	.	.970	3	.668
	50%	.196	3	.	.996	3	.878
	75%	.375	3	.	.773	3	.052
	100%	.219	3	.	.987	3	.780
VFWA	0%	.253	3	.	.964	3	.637
	25%	.256	3	.	.962	3	.623
	50%	.177	3	.	1.000	3	.973
	75%	.371	3	.	.785	3	.079
	100%	.227	3	.	.983	3	.747
VMA	0%	.253	3	.	.964	3	.637
	25%	.262	3	.	.957	3	.600
	50%	.184	3	.	.999	3	.927
	75%	.374	3	.	.778	3	.062
	100%	.219	3	.	.987	3	.780
MQ	0%	.185	3	.	.998	3	.926
	25%	.311	3	.	.897	3	.377
	50%	.312	3	.	.896	3	.373
	75%	.338	3	.	.853	3	.249
	100%	.181	3	.	.999	3	.940
Density	0%	.175	3	.	1.000	3	1.000
	25%	.253	3	.	.964	3	.637
	50%	.175	3	.	1.000	3	1.000
	75%	.343	3	.	.842	3	.220
	100%	.253	3	.	.964	3	.637

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 34 Uji Homogen pada Analisis Statistik *ANOVA*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Stabilitas	Based on Mean	1.026	4	10	.440
	Based on Median	.213	4	10	.925
	Based on Median and with adjusted df	.213	4	6.819	.923
	Based on trimmed mean	.933	4	10	.483
Flow	Based on Mean	3.123	4	10	.066
	Based on Median	.691	4	10	.615
	Based on Median and with adjusted df	.691	4	5.013	.629
	Based on trimmed mean	2.838	4	10	.082
VITM	Based on Mean	1.813	4	10	.203
	Based on Median	.287	4	10	.880
	Based on Median and with adjusted df	.287	4	4.120	.873
	Based on trimmed mean	1.628	4	10	.242
VFWA	Based on Mean	2.047	4	10	.163
	Based on Median	.325	4	10	.855
	Based on Median and with adjusted df	.325	4	4.088	.849
	Based on trimmed mean	1.839	4	10	.198
VMA	Based on Mean	2.045	4	10	.164
	Based on Median	.309	4	10	.865
	Based on Median and with adjusted df	.309	4	4.035	.859
	Based on trimmed mean	1.830	4	10	.200
MQ	Based on Mean	3.424	4	10	.052
	Based on Median	.761	4	10	.574
	Based on Median and with adjusted df	.761	4	3.315	.609
	Based on trimmed mean	3.131	4	10	.065
Density	Based on Mean	1.953	4	10	.178
	Based on Median	.361	4	10	.831
	Based on Median and with adjusted df	.361	4	4.813	.827
	Based on trimmed mean	1.773	4	10	.211

Lampiran 35 Uji Normalitas pada Analisis Statistik *ANOVA*

Tests of Normality

	VARIASI AGREGAT HALUS	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
IRS	0%	.372	3	.	.782	3	.073
	25%	.312	3	.	.896	3	.372
	50%	.242	3	.	.973	3	.683
	75%	.316	3	.	.890	3	.353
	100%	.373	3	.	.779	3	.066
ITS	0%	.212	3	.	.990	3	.809
	25%	.322	3	.	.880	3	.323
	50%	.209	3	.	.991	3	.823
	75%	.182	3	.	.999	3	.937
	100%	.236	3	.	.977	3	.709
TSR	0%	.273	3	.	.945	3	.549
	25%	.232	3	.	.980	3	.727
	50%	.310	3	.	.899	3	.383
	75%	.282	3	.	.935	3	.509
	100%	.269	3	.	.949	3	.566
CANTABRO	0%	.217	3	.	.988	3	.790
	25%	.344	3	.	.841	3	.217
	50%	.308	3	.	.902	3	.392
	75%	.368	3	.	.792	3	.095
	100%	.296	3	.	.918	3	.446
DRAINDOWN	0%	.179	3	.	.999	3	.948
	25%	.196	3	.	.996	3	.878
	50%	.328	3	.	.871	3	.298
	75%	.175	3	.	1.000	3	1.000
	100%	.219	3	.	.987	3	.780

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 36 Uji Homogen pada Analisis Statistik *ANOVA*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
IRS	Based on Mean	1.284	4	10	.340
	Based on Median	.232	4	10	.914
	Based on Median and with adjusted df	.232	4	6.949	.911
	Based on trimmed mean	1.142	4	10	.391
ITS	Based on Mean	.484	4	10	.747
	Based on Median	.252	4	10	.902
	Based on Median and with adjusted df	.252	4	8.483	.901
	Based on trimmed mean	.467	4	10	.759
TSR	Based on Mean	2.206	4	10	.142
	Based on Median	.648	4	10	.641
	Based on Median and with adjusted df	.648	4	4.640	.654
	Based on trimmed mean	2.049	4	10	.163
CANTABRO	Based on Mean	2.901	4	10	.078
	Based on Median	.431	4	10	.783
	Based on Median and with adjusted df	.431	4	5.306	.782
	Based on trimmed mean	2.550	4	10	.105
DRAINDOWN	Based on Mean	.590	4	10	.678
	Based on Median	.465	4	10	.761
	Based on Median and with adjusted df	.465	4	8.291	.761
	Based on trimmed mean	.583	4	10	.682

Lampiran 37 Uji *One Way ANOVA* pada Analisis Statistik *ANOVA*

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Stabilitas	Between Groups	93462.573	4	23365.643	2.028	.166
	Within Groups	115207.692	10	11520.769		
	Total	208670.265	14			
Flow	Between Groups	.758	4	.189	.637	.648
	Within Groups	2.974	10	.297		
	Total	3.732	14			
VITM	Between Groups	3.337	4	.834	57.581	<,001
	Within Groups	.145	10	.014		
	Total	3.481	14			
VFWA	Between Groups	60.776	4	15.194	49.766	<,001
	Within Groups	3.053	10	.305		
	Total	63.829	14			
VMA	Between Groups	3.602	4	.900	90.826	<,001
	Within Groups	.099	10	.010		
	Total	3.701	14			
MQ	Between Groups	40751.488	4	10187.872	1.656	.236
	Within Groups	61514.873	10	6151.487		
	Total	102266.361	14			
Density	Between Groups	.012	4	.003	338.176	<,001
	Within Groups	.000	10	.000		
	Total	.012	14			

Lampiran 38 Uji *One Way ANOVA* pada Analisis Statistik *ANOVA*

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IRS	Between Groups	46.931	4	11.733	.087	.985
	Within Groups	1354.456	10	135.446		
	Total	1401.387	14			
ITS	Between Groups	87626.957	4	21906.739	14.265	<,001
	Within Groups	15356.952	10	1535.695		
	Total	102983.909	14			
TSR	Between Groups	26.395	4	6.599	.112	.975
	Within Groups	590.012	10	59.001		
	Total	616.407	14			
CANTABRO	Between Groups	52.651	4	13.163	1.051	.429
	Within Groups	125.285	10	12.529		
	Total	177.936	14			
DRAINDOWN	Between Groups	.004	4	.001	2.034	.165
	Within Groups	.005	10	.001		
	Total	.010	14			