

TESIS

**ANALISIS KARAKTERISTIK GRADASI DAN
KELAYAKAN MATERIAL *ALUVIAL GRAVEL SAND*
(KINANG JINGKION) SEBAGAI AGREGAT *HOT
ROLLED SHEET* (HRS BASE) DI KABUPATEN YALIMO,
PROVINSI PAPUA PEGUNUNGAN**

**Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)**



Oleh:

RONAL FERNANDO LUMBAN TOBING

NIM: 20202400034

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN

DRAFT TESIS

**ANALISIS KARAKTERISTIK GRADASI DAN KELAYAKAN
MATERIAL *ALUVIAL GRAVEL SAND* (KINANG JINGKION)
SEBAGAI AGREGAT *HOT ROLLED SHEET* (HRS BASE) DI
KABUPATEN YALIMO, PROVINSI PAPUA PEGUNUNGAN**

Disusun oleh :

RONAL FERNANDO LUMBAN TOBING

NIM : 20202400034

Telah disetujui oleh:

Tanggal, 19 Desember 2025

Tanggal, 19 Desember 2025

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D

NIK. 210293018



Dr Ir Juny Andry Sulisty, SS, ST, MT

NIK. 210222097

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**ANALISIS KARAKTERISTIK GRADASI DAN KELAYAKAN MATERIAL
ALUVIAL GRAVEL SAND (KINANG JINGKION) SEBAGAI AGREGAT *HOT
ROLLED SHEET* (HRS BASE) DI KABUPATEN YALIMO, PROVINSI PAPUA
PEGUNUNGAN**

Disusun oleh:

RONAL FERNANDO LUMBAN TOBING
NIM : 20202400034

Dipertahankan di depan Tim Penguji tanggal 19 Desember 2025.

Tim Penguji :

1. Ketua :

(Dr. Ir. Junyawan Cahayoso, ST., SS., MT.)

2. Anggota :

(Prof. Dr. Ir. Sulman Wahyudi, DEA)

3. Anggota :

(Dr. Ir. Sumirja, MS.)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Menyerahkannya ke Jurusan Magister Teknik (MT)

جامعة سلطان أحمد بن عبد العزيز الإسلامية
Sulawesi

Mengetahui,
Ketua Program Studi,

(Prof. Dr. Ir. Antonius, MT)
NIK. 210202033

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik,

(Dr. Abdul Rochim, ST., MT)
NIK. 210200031

MOTTO

Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, serta beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka; di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.

(QS. Ali Imran: 110)

“Jangan pernah takut, lokasi lahir boleh dimana saja, tapi lokasi mimpi harus tetap berada dilangit”

(H. Anies Rasyid Baswedan, S.E., M.P.P., Ph.D.)

“Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang.”

(Ir. Soekarno)

“Tidak ada mimpi yang gagal yang ada hanyalah mimpi yang tertunda, cuman sekiranya kalau teman – teman merasa gagal dalam mencapai mimpi, jangan khawatir, mimpi – mimpi lain bisa diciptakan”

(Winda Basudara)

“Buatlah mimpi sebesar mungkin sehingga mimpi itu menjadi sebuah magnet yang menarik kita kesana untuk menjadi lebih baik dan memantaskan kita. Apa yang dipikirkan menjadi kenyataan tentu saja lewat usaha dan proses yang tidak mudah”

(Merry Riana)

“Tidak ada mimpi yang terlalu tinggi. Tak ada mimpi yang patut untuk diremekan. Lambungkan setinggi yang kau inginkan dan gapailah dengan selayak yang kau harapkan”

(Maudy Ayunda)

Mimpi yang mendukung sukses itu bukan mimpi yang kita temui pada saat kita tidur, tetapi mimpi yang mendukung sukses itu adalah mimpi yang membuat kita tidak bisa tidur

(Ronal Fernando Lumban Tobing)

“Ingat bukan karena keberuntungan kamu bisa sejauh ini, tapi karna penyertaan Tuhan yang begitu besar atas hidupmu”

(Mazmur 121:8)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh syukur ke hadirat Allah yang telah menuntun setiap langkah dan memberi kekuatan dalam setiap kemudahan yang telah di berikan sehingga Tesis yang sederhana ini dapat terselesaikan. Tak lupa saya persembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat saya sayangi dan kasihi:

1. Kedua orang tuaku tercinta, ayah dan ibu (Opung Gretha) atas doa, kasih serta pengorbanan yang tiada pernah berhenti mengalir sepanjang hidupku
2. Kakak dan adik ku tercinta yang selalu memberikan dorongan serta motivasi dalam menyelesaikan studi magister teknik sipil
3. Seluruh saudara – saudara ku atas doa, dukungan, dan kebersamaan yang selalu memberi semangat.
4. Dosen Pembimbing Tesis Bapak Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D. dan Dr. Ir. Juni Andry Sulistyono, ST.,MT yang sudah membantu selama ini, sudah menasehati memberikan arahan sehingga terwujudnya tesis ini
5. Bapak Awaludin Siregar, ST, MT, selaku dosen pembimbing ku S1 yang selalu memberikan nasehat, motivasi serta semangat
6. Bapak Dr. Bakhtiar, ST, MT, selaku dosen teknik sipil di Universitas Cenderawasih yang selalu membimbing serta memberikan masukan konkrit terkait penyusunan tesis

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RONAL FERNANDO LUMBAN TOBING

NIM : 20202400034

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

ANALISIS KARAKTERISTIK GRADASI DAN KELAYAKAN MATERIAL ALUVIAL GRAVEL SAND (KINANG JINGKION) SEBAGAI AGREGAT HOT ROLLED SHEET (HRS BASE) DI KABUPATEN YALIMO, PROVINSI PAPUA PEGUNUNGAN

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 19 Desember 2025



Ronal Fernando Lumban Tobing

NIM: 20202400034

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan di wilayah pegunungan seperti Kabupaten Yalimo menghadapi kendala ketersediaan material agregat yang memenuhi standar teknis sehingga diperlukan penggunaan material lokal sebagai alternatif yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gradasi dan sifat fisik-mekanik material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion), menilai kesesuaiannya dengan spesifikasi Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base), serta mengidentifikasi potensi dan keterbatasannya sebagai bahan agregat pada perkerasan jalan

Penelitian dilakukan melalui serangkaian pengujian laboratorium yang meliputi analisis saringan, berat jenis dan penyerapan, Sand Equivalent, keausan Los Angeles, kadar lumpur, lolos saringan No.200, kekekalan bentuk terhadap larutan sulfat, uji penyelimutan dan pengelupasan, partikel pipih dan lonjong, serta uji Marshall untuk menilai performa campuran. Data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkannya terhadap spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga

Hasil pengujian menunjukkan bahwa material Kinang Jinkion memiliki Modulus Kehalusan (FM) 3,40–3,45, berat jenis SSD 2,45–2,55 gr/cm³, penyerapan air < 3%, kadar lolos No.200 sebesar 0,60%, Sand Equivalent 89–93%, dan keausan Los Angeles < 25%. Nilai stabilitas Marshall ±2344 kg, flow 6–9 mm, dan VIM 4,8–5,5%, seluruhnya memenuhi spesifikasi HRS-Base. Secara teknis material ini dinyatakan layak digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran beraspal panas

Kesimpulannya material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) berpotensi menjadi alternatif agregat lokal yang efektif untuk perkerasan jalan lingkungan di Kabupaten Yalimo meskipun beberapa keterbatasan terkait ketahanan terhadap rendaman air dan ketersediaan fasilitas pengolahan perlu diperhatikan dalam penerapannya.

Kata kunci: *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion), Uji Laboratorium, Kelayakan Teknis, Perkerasan Jalan, Papua Pegunungan

ABSTRACT

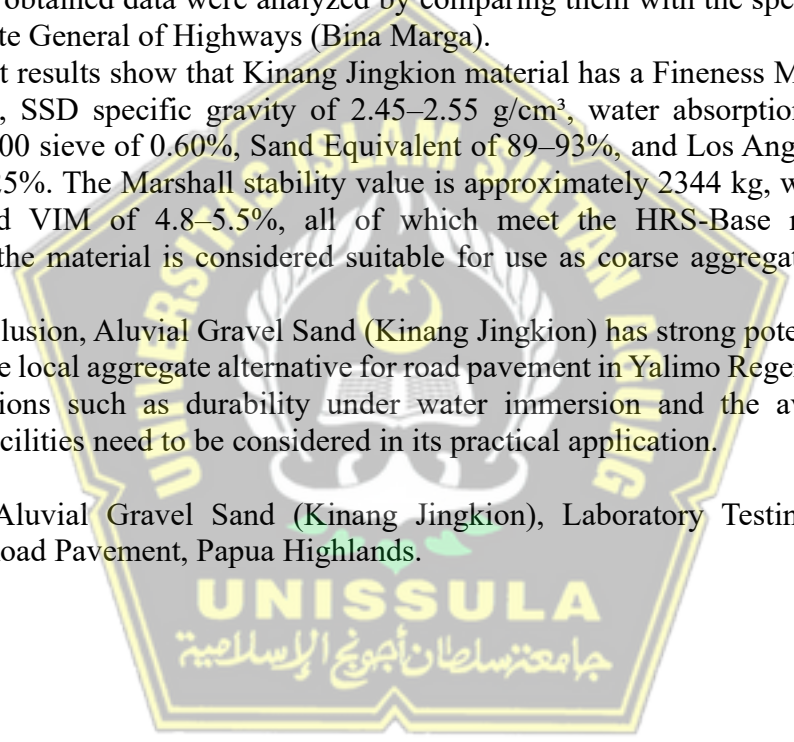
The construction of road infrastructure in mountainous regions such as Yalimo Regency faces major challenges related to the limited availability of aggregate materials that meet technical standards. This condition necessitates the use of local materials as more efficient and sustainable alternatives. This study aims to analyze the gradation and physical–mechanical properties of Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion), assess its conformity with Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base) specifications, and identify its potential and limitations as an aggregate material for road pavement.

The research was conducted through a series of laboratory tests, including sieve analysis, specific gravity and water absorption, Sand Equivalent, Los Angeles abrasion, mud content, passing No.200 sieve, soundness against sulfate solution, stripping test, flat and elongated particles, and Marshall testing to evaluate the performance of the asphalt mixture. The obtained data were analyzed by comparing them with the specifications of the Directorate General of Highways (Bina Marga).

The test results show that Kinang Jingkion material has a Fineness Modulus (FM) of 3.40–3.45, SSD specific gravity of 2.45–2.55 g/cm³, water absorption below 3%, passing No.200 sieve of 0.60%, Sand Equivalent of 89–93%, and Los Angeles abrasion of less than 25%. The Marshall stability value is approximately 2344 kg, with a flow of 6–9 mm and VIM of 4.8–5.5%, all of which meet the HRS-Base requirements. Technically, the material is considered suitable for use as coarse aggregate in hot-mix asphalt.

In conclusion, Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) has strong potential to serve as an effective local aggregate alternative for road pavement in Yalimo Regency, although some limitations such as durability under water immersion and the availability of processing facilities need to be considered in its practical application.

Keywords: Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion), Laboratory Testing, Technical Feasibility, Road Pavement, Papua Highlands.



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan tesis yang berjudul Analisis Karakteristik Gradasi Dan Kelayakan Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)) Sebagai *Agregat Hot Rolled Sheet* (HRS BASE) Di Kabupaten Yalimo, Provinsi Papua Pegunungan. Tesis ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam meraih derajat kesarjanaan program Strata Dua (S-2) Program Magister Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama penelitian dan penyusunan laporan penelitian dalam tesis ini, penulis tidak lupa dari kendala. Kendala tersebut dapat diatasi penulis berkat adanya bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof Dr Gunarto SH MH. selaku selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang, yang telah memberikan ijin dan kesempatan kepada penulis untuk belajar dan menyelesaikan studi Megister Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kesempatan penulis untuk belajar Program Magister Teknik Sipil
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. selaku Ketua program Studi Magister Magister Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyusun tesis ini hingga selesai.
5. Dr. Ir. Juni Andry Sulistyoyo, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyusun tesis ini hingga selesai.
6. Seluruh dosen program studi Program Magister Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah mengajarkan berbagai pengetahuan bagi penulis

7. Seluruh teman-teman Angkatan 2024 yang telah mendampingi penulis selama proses perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini.
8. Kedua Orang tua dan kedua pimpinan saya Bapak Prof. Drs. Dr. Akbar Silo, MS dan Dr. Uturenstantix, M.Si. yang telah memberikan dukungan secara moril dan materil dalam penyelesaian tesis ini.
9. Pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

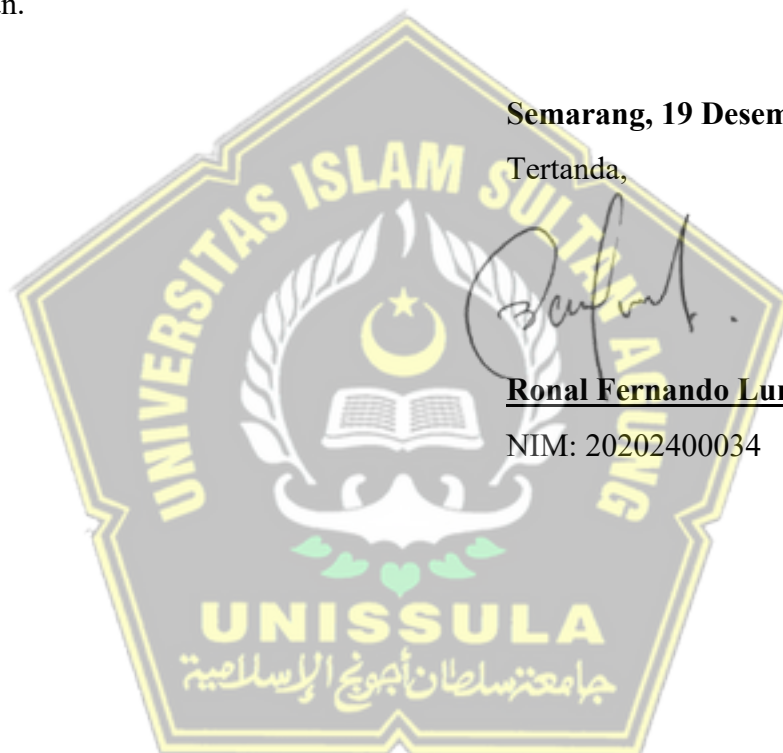
Semarang, 19 Desember 2025

Tertanda,



Ronal Fernando Lumban Tobing

NIM: 20202400034



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Konstruksi Perkerasan Jalan	6
2.2. Campuran HRS (<i>Hot Rolled Sheet</i>)	10
2.3. Agregat dalam Campuran Beraspal	13
2.4. Gradasi Agregat.....	15
2.4.1. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar	16
2.5. Sifat Fisik Agregat untuk HRS-Base.....	19
2.5.1. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	20
2.5.2. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	23
2.5.3. Pengujian Setara Pasir (<i>Sand Equivalent</i>)	26
2.5.4. Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200	30

	(0,075 mm)	
2.5.5.	Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Aspal.....	32
2.5.6.	Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat.....	35
2.5.7.	Uji Kuantitas Butiran Pipih, Lonjong Atau Pipih Dan Lonjong Dalam Agregat Kasar.....	41
2.5.8.	Pengujian Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan	45
2.5.9.	Pengujian Berat Jenis Aspal Padat	46
2.6.	Material Lokal Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)	48
2.7.	Geologi Dan Jenis Batuan di Kabupaten Yalimo	51
2.8.	Potensi Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) dalam Campuran HRS-Base	55
2.9.	Penelitian Terdahulu	56
2.10.	Kerangka Berpikir.....	61
BAB III	METODE PENELITIAN	65
3.1.	Lokasi Penelitian	65
3.2.	Jenis Penelitian	66
3.3.	Jenis Dan Sumber Data	66
3.4.	Teknik Pengumpulan Data.....	67
3.5.	Metode Analisa Data.....	68
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	71
4.1.	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	71
4.2.	Hasil Pengujian Laboratorium.....	73
4.2.1.	Analisis Saringan (Gradasi Agregat Halus Dan Kasar).....	73
4.2.2.	Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar	104
4.2.3.	Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan <i>Mesin Los Angeles</i>	112
4.2.4.	Mengandung Plastik Dengan Cara Setara Pasir	114
4.2.5.	Pengujian Kadar Lumpur dalam Agregat.....	116
4.2.6.	Hasil Pengujian Jumlah Bahan Agregat Yang Lolos Saringan No. 200.....	118
4.2.7	Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat.....	120
4.2.8.	Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Aspal.....	126

4.2.9.	Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong	128
4.2.10.	Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)	131
4.2.11.	Pengujian Berat Jenis Aspal Pen 60/70	133
4.2.12.	Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal	135
4.2.13.	Pengujian Marshall Untuk Campuran Beraspal Panas	137
4.3.	Analisis Hasil Marshall Campuran Beraspal dengan Penggabungan Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) dan Quarry Kampung Harapan.....	144
4.3.1.	Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Dengan Agregat Kampung Harapan Kabupaten Jayapura.....	146
4.3.2.	Pengujian Berat Jenis Aspal Pen 60/70	148
4.3.3.	Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal	150
4.3.4.	Pengujian Marshall Untuk Campuran Beraspal Panas	152
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	171
5.1.	Kesimpulan.....	171
5.2.	Saran	172

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Gradasi Dan Berat Benda Uji.....	24
Tabel 2.2.	Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji.....	30
Tabel 2.3.	Temperatur Aspal Untuk Pengadukan	34
Tabel 2.4.	Ukuran Saringan Untuk Agregat Halus Dan Agregat Kasar	36
Tabel 2.5.	Ukuran Saringan Yang Digunakan Untuk Agregat Kasar Setelah Pengujian	39
Tabel 2.6.	Indeks Ketelitian Pengujian Untuk Multi Laboratorium Dan Satu Operator.	40
Tabel 2.7.	Luas Jenis Geologi Menurut Distrik Di Kabupaten Yalimo	52
Tabel 2.8.	Penelitian Terdahulu.....	56
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili (10-20 cm).....	74
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie (10-20 cm).....	78
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii (0,5-10 cm)	81
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie (0,5-10 cm).....	84
Tabel 4.5.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Abu Batu Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii	86
Tabel 4.6.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Abu Batu Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie	89
Tabel 4.7.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Pair Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii	91
Tabel 4.8.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie.....	94
Tabel 4.9.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Filler Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii	96
Tabel 4.10.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Filler Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie.....	99
Tabel 4.11.	Rekapitulasi Analisis Saringan (Gradasi Agregat Halus Dan Kasar) Quarry	102

	Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	
Tabel 4.12.	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 1- 2 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	104
Tabel 4.13.	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 0,5- 1 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	107
Tabel 4.14.	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	109
Tabel 4.15.	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	111
Tabel 4.16.	Hasil Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeeles Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	113
Tabel 4.17.	Hasil Pengujian Setara Pasir Agregat Halus Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	115
Tabel 4.18.	Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion)	117
Tabel 4.19.	Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion)	117
Tabel 4.20.	Hasil Pengujian Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 Agregat Kasar Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	119
Tabel 4.21.	Hasil Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat Agregat Kasar.....	122
Tabel 4.22.	Hasil Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Kasar Aspal	127
Tabel 4.23.	Hasil Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong.....	129
Tabel 4.24.	Hasil Pengujian Berat Jenis Bult Agregat Gabungan.....	131
Tabel 4.25.	Hasil Pengujian Berat Jenis Apal Pen 60/70	133
Tabel 4.26.	Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal.....	136
Tabel 4.27.	Hasil Pengujian Marshall	138
Tabel 4.28.	Proporsi Agregat Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Harapan Kabupaten Jayapura.....	145
Tabel 4.29.	Proporsi Agregat Material Kampung Harapan	145

Tabel 4.30.	Proporsi Gabungan Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) + Kampung Harapan (Seimbang 50:50 pada Fraksi Halus)	146
Tabel 4.31.	Hasil Pengujian Berat Jenis Bult Agregat Gabungan.....	147
Tabel 4.32.	Hasil Pengujian Berat Jenis Apal Pen 60/70	149
Tabel 4.33.	Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal.....	151
Tabel 4.34.	Hasil Pengujian Marshall	153



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Struktur Perkerasan Lentur.....	8
Gambar 2.2.	Struktur Perkerasan Kaku.....	9
Gambar 2.3.	Struktur Perkerasan Kamposit.....	10
Gambar 2.4.	Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Dari Apalapsili, Distrik Elelim, Kab. Yalimo.....	50
Gambar 2.5.	Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Dari Sungai Habie Apalapsili, Distrik Elelim, Kab. Yalimo	51
Gambar 2.6.	Peta Geologi Kabupaten Yalimo	54
Gambar 3.1.	Peta Administrasi Kabupaten Yalimo	65
Gambar 4.1.	Wawancara Dengan Dinas PUPR Kab. Yalimo, Tokoh Adat Dan Tokoh Masyarakat	72
Gambar 4.2.	Proses Pengambilan Sampel.....	72
Gambar 4.3.	Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Apalapsili (10-20).....	77
Gambar 4.4.	Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Habie (10-20)	80
Gambar 4.5.	Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Apalapsili (0,5-10 cm).....	83
Gambar 4.6.	Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Habie (0,5-10 cm).....	85
Gambar 4.7.	Gradasi Abu Batu Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Apalapsili.....	88
Gambar 4.8.	Gradasi Abu Batu Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Habie.....	90
Gambar 4.9.	Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Apalapsili	93
Gambar 4.10.	Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Habie	95
Gambar 4.11.	Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion)	98

	Quarry Kampung Apalapsili	
Gambar 4.12.	Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie	100
Gambar 4.13.	Gradasi Agregat Quarry Kampung Apalapsili	159
Gambar 4.14.	Gradasi Agregat Quarry Kampung Habie	160
Gambar 4.15.	Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 1- 2 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	162
Gambar 4.16.	Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 0,5- 1 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie.....	163
Gambar 4.17.	Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	164
Gambar 4.18.	Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie.....	165
Gambar 4.19.	Pengujian Mengandung Plastis Dengan Cara Setara Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	166
Gambar 4.20.	Pengujian Sifat Kekakuan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat Agregat Kasar Kampung Apalapsili dan Kampung Habie.....	167
Gambar 4.21.	Pengujian Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Kasar Aspal Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	168
Gambar 4.22.	Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong Kampung Apalapsili dan Kampung Habie	169
Gambar 4.23.	Pengujian Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsili dan Kampung Habie.....	169

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu pilar utama dalam upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat, memperkuat konektivitas antarwilayah dan mendorong pertumbuhan ekonomi nasional maupun daerah. Jalan tidak hanya berfungsi sebagai sarana transportasi untuk mobilitas manusia dan barang tetapi juga sebagai penggerak utama kegiatan ekonomi, sosial, dan budaya masyarakat. Menurut Bappenas, pembangunan infrastruktur jalan bertujuan untuk memperluas aksesibilitas, memperkecil kesenjangan antarwilayah serta mendukung pengembangan kawasan tertinggal dan terisolasi. Infrastruktur jalan yang baik akan membuka peluang investasi, memperluas pasar hasil produksi lokal dan meningkatkan efisiensi distribusi barang dan jasa. (Todaro dan Smith 2015) menyebutkan bahwa pembangunan infrastruktur fisik termasuk jalan merupakan bagian integral dari pembangunan ekonomi karena menciptakan fondasi yang memungkinkan terjadinya pertumbuhan dan produksi. Jalan membantu mengatasi hambatan geografis, memfasilitasi integrasi ekonomi wilayah dan mendorong terciptanya pemerataan pembangunan. Namun demikian di wilayah-wilayah tertentu, terutama daerah dengan kondisi geografis yang sulit seperti Kabupaten Yalimo di Provinsi Papua Pegunungan, pembangunan jalan menghadapi tantangan yang tidak sederhana.

Kabupaten Yalimo adalah salah satu daerah terpencil dengan kondisi topografi yang didominasi oleh pegunungan, kemiringan lereng yang curam dan aksesibilitas yang terbatas. Wilayah ini berbatasan dengan Kabupaten Jayapura di utara, Kabupaten Yahukimo di timur, Kabupaten Jayawijaya di selatan dan Kabupaten Mamberamo Tengah di barat. Berdasarkan data (B. P. S. K. Yalimo 2023), panjang jalan kabupaten di Yalimo masih didominasi oleh jalan tanah sepanjang 216,74 km, sementara jalan provinsi sepanjang 168 km juga belum sepenuhnya beraspal. Kondisi ini mencerminkan belum optimalnya pembangunan infrastruktur jalan di daerah ini.

Selain kondisi topografi yang sulit, tantangan lainnya adalah terbatasnya pasokan material agregat yang memenuhi standar teknis untuk campuran aspal terutama pada lapisan penutup (*Hot Rolled Sheet Base* atau *HRS-Base*). Lapisan ini merupakan bagian

teratas perkerasan jalan yang menerima beban lalu lintas secara langsung sehingga kualitasnya sangat menentukan umur layan jalan. Dalam praktiknya kebutuhan agregat di Kabupaten Yalimo sebagian besar masih dipenuhi dengan mendatangkan material dari luar daerah seperti Jayapura, Nabire, bahkan dari Pulau Jawa. Hal ini menyebabkan biaya logistik sangat tinggi, memperlambat pelaksanaan proyek dan membebani anggaran daerah maupun pusat. Tingginya biaya konstruksi di Kabupaten Yalimo tercermin dalam data Indeks Kemahalan Konstruksi (IKK) tahun 2023 yang mencapai 254,48, jauh di atas rata-rata nasional (IKK = 100) dan termasuk salah satu yang tertinggi di Indonesia. Biaya pembangunan jalan di Yalimo lebih dari dua setengah kali lipat dibandingkan rata-rata nasional yang menunjukkan adanya ketergantungan yang tinggi terhadap material dari luar dan mahal biaya transportasi akibat kondisi geografis dan infrastruktur yang terbatas. Selain itu karakteristik geologi dan geomorfologi Kabupaten Yalimo yang terdiri atas dataran bergelombang hingga pegunungan dengan ketinggian 0–3000 mdpl dan kemiringan lereng dominan 15–25% (agak curam), bahkan di beberapa distrik lebih dari 40% (sangat curam), menimbulkan risiko bencana alam seperti longsor yang berdampak pada kerusakan jalan dan kesulitan akses material ke lokasi proyek

Dalam menghadapi tantangan tersebut salah satu solusi yang relevan adalah dengan memanfaatkan potensi sumber daya lokal sebagai bahan baku konstruksi. Pendekatan ini sejalan dengan teori pembangunan berkelanjutan (Kodoatie dan Sugianto 2002), yang menekankan pentingnya memanfaatkan material lokal untuk menekan biaya, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan efisiensi proyek. Dengan demikian selain lebih ekonomis, penggunaan material lokal juga mendukung pemberdayaan ekonomi masyarakat setempat. Kabupaten Yalimo memiliki material batuan lokal yang dikenal masyarakat dengan nama *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion), yang secara alami tersedia dalam jumlah cukup melimpah. Menurut penelitian (Bahtiar 2024), material ini memiliki karakteristik fisik yang cukup baik dan berpotensi digunakan sebagai agregat pada perkerasan jalan. Penelitian awal lainnya oleh (Idie 2023) juga menyebutkan bahwa *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) menunjukkan hasil yang menjanjikan sebagai alternatif material konstruksi, meskipun diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai gradasi butirannya dan kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis campuran HRS-Base.

Gradasi agregat merupakan salah satu faktor paling penting dalam menentukan kualitas campuran aspal. Gradasi yang tepat akan menghasilkan kepadatan optimal,

stabilitas tinggi, dan daya tahan terhadap deformasi maupun kerusakan prematur. Sebaliknya, gradasi yang tidak sesuai dapat menyebabkan masalah teknis seperti porositas tinggi, bleeding, stripping, hingga kegagalan dini pada perkerasan jalan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian laboratorium untuk memastikan apakah *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) memenuhi kriteria gradasi dan sifat fisik sesuai spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga. Urgensi penelitian ini semakin tinggi seiring dengan program pembangunan infrastruktur nasional yang menargetkan percepatan pembangunan di wilayah Papua. Pemanfaatan material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi tingginya biaya logistik, mempercepat pembangunan jalan dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Kabupaten Yalimo. Penelitian ini akan memberikan data empiris yang penting bagi para pemangku kepentingan, termasuk pemerintah daerah, kontraktor, dan perencana, untuk memanfaatkan potensi sumber daya lokal secara optimal dan efisien.

Berdasarkan paparan di atas penelitian ini perlu dilakukan untuk menganalisis gradasi material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang tersedia di Kabupaten Yalimo serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan standar gradasi agregat untuk campuran HRS-Base. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan pembangunan jalan di wilayah terpencil dengan memanfaatkan material lokal secara optimal, efisien dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

dari latar belakang masalah yang sudah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yaitu

1. Bagaimana karakteristik gradasi material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang tersedia di Kabupaten Yalimo jika dibandingkan dengan spesifikasi gradasi agregat untuk campuran hrs-base?
2. Apakah material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) memenuhi persyaratan gradasi dan sifat fisik untuk digunakan sebagai agregat pada lapisan penutup *Hot Rolled Sheet* (HRS-Base)?
3. Apa saja faktor-faktor yang menjadi keunggulan dan keterbatasan penggunaan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) sebagai alternatif agregat lokal pada pekerjaan perkerasan jalan di Kabupaten Yalimo

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah

1. Menganalisis gradasi material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang ada di Kabupaten Yalimo dan membandingkannya dengan standar gradasi agregat untuk campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS-Base)
2. Menganalisis material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) memenuhi kriteria teknis sebagai agregat untuk lapisan penutup *Hot Rolled Sheet* (HRS-base) berdasarkan pengujian laboratorium
3. Mengidentifikasi potensi, keunggulan, dan keterbatasan material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dalam penggunaannya sebagai alternatif bahan agregat pada perkerasan jalan di Kabupaten Yalimo

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut

Manfaat akademis

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi perkerasan jalan terutama terkait analisis gradasi agregat lokal
2. Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pemanfaatan material lokal sebagai agregat pada campuran aspal di wilayah terpencil
3. Menambah literatur mengenai potensi batuan lokal dari Papua Pegunungan sebagai alternatif bahan konstruksi perkerasan jalan

Manfaat praktis

1. Memberikan informasi teknis bagi pemerintah daerah, instansi teknis (seperti dinas pupr), dan kontraktor lokal mengenai kelayakan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) sebagai agregat *Hot Rolled Sheet* (HRS-Base)
2. Mendukung efisiensi biaya proyek infrastruktur jalan di Kabupaten Yalimo dengan memanfaatkan material lokal dan mengurangi ketergantungan terhadap pasokan dari luar daerah
3. Mendorong pemberdayaan ekonomi lokal melalui pemanfaatan sumber daya alam setempat secara lebih optimal dan berkelanjutan

1.5. Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada permasalahan yang telah dirumuskan maka terdapat beberapa batasan penelitian sebagai berikut

1. Penelitian ini difokuskan pada analisis karakteristik gradasi dan sifat fisik material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) yang berasal dari lokasi pengambilan sampel di Distrik Elelim, Kabupaten Yalimo, Provinsi Papua Pegunungan. Penelitian ini tidak bermaksud menilai keunggulan material tersebut melainkan hanya menggambarkan kondisi aktualnya berdasarkan hasil uji laboratorium
2. Hasil pengujian material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dibandingkan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga khusus pada persyaratan teknis agregat untuk lapisan *Hot Rolled Sheet Base* (HRS-Base). Perbandingan dilakukan semata untuk menilai tingkat kesesuaian karakteristik material terhadap standar tersebut
3. Penelitian ini tidak membahas aspek kimiawi, dampak lingkungan, maupun kinerja jangka panjang dari penggunaan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) pada perkerasan jalan. Kajian dibatasi hanya pada pengujian sifat fisik dan mekanik agregat dalam skala laboratorium
4. Analisis biaya tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Pembahasan mengenai potensi efisiensi biaya hanya dibahas secara umum sebagai implikasi dari pemanfaatan material lokal tanpa dilakukan perhitungan biaya konstruksi secara rinci
5. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium tanpa melibatkan uji coba lapangan ataupun penerapan konstruksi nyata pada ruas jalan tertentu. Hasil yang diperoleh bersifat indikatif untuk menggambarkan potensi teknis material, bukan sebagai dasar rekomendasi penerapan langsung di lapangan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konstruksi Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan jalan adalah suatu konstruksi play elastis yang berlapis – lapis (kontruksi sandwich) yang terletak pada suatu landasan yang elastis dan merupakan bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapisan konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan dan kekakuan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar (Pinar di Koestalam, 2004). Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan sangat diperlukan. Kelancaran arus lalu lintas sangat tergantung dari kondisi jalan yang ada, semakin baik kondisi jalan maka akan semakin lancar pula arus lalu lintas. Untuk itu dalam perencanaan jalan, perlu dipertimbangkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan jalan tersebut seperti fungsi jalan, kinerja perkerasan, umur rencana, jumlah lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan jalan, sifat tanah dasar, kondisi lingkungan, sifat dan jumlah material yang tersedia di lokasi yang akan dipergunakan sebagai bahan lapis perkerasan dan bentuk geometrik perkerasan.

Fungsi struktur perkerasan adalah sebagai penerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan. Oleh karena itu struktur perkerasan perlu memiliki stabilitas yang tinggi, kokoh selama masa pelayanan jalan dan tahan terhadap pengaruh lingkungan dan cuaca, kelelahan (*Fatigue Resistance*). Sebagai pemberi rasa nyaman dan aman kepada pengguna jalan, oleh karena itu permukaan perkerasan perlu kesat sehingga mampu memberikan gesekan yang baik antara muka jalan dan ban kendaraan, tidak mudah selip ketika permukaan basah akibat hujan pada kecepatan tinggi. Disamping itu permukaan perkerasan harus tidak mengkilap sehingga pengemudi tidak merasa silau jika permukaan jalan terkena sinar matahari.

Agar struktur perkerasan jalan raya kokoh selama masa pelayanan, aman dan nyaman bagi pengguna jalan maka:

1. Pemilihan jenis perkerasan dan perencanaan tebal lapisan perkerasan perlu memperhatikan daya dukung tanah dasar, beban lalu lintas, keadaan lingkungan, masa pelayanan atau umur rencana, ketersediaan dan karakteristik material pembentuk perkerasan jalan
2. Analisis rancangan campuran dari bahan yang tersedia perlu memperhatikan mutu dan jumlah bahan setempat sehingga sesuai dengan spesifikasi pekerjaan dan jenis lapisan perkerasan yang dipilih
3. Pengawasan pelaksanaan pekerjaan sesuai prosedur pengawasan yang ada, dengan memperhatikan sistem pejamin mutu pelaksanaan jalan sesuai spesifikasi pekerjaan
4. Pemeliharaan jalan selama masa pelayanan perlu dilakukan selama priodik sehingga umur rencana dapat tercapai.

Umumnya konstruksi perkerasan jalan raya dibuat lapis demi lapis, lapisan yang paling atas menggunakan bahan yang lebih baik dari pada dibawahnya. (Sukirman 2013) konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan tiga jenis konstruksinya antara lain

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
adalah susunan lapis perkerasan mulai dari tanah dasar (subgrade), lapis pondasi agregat (*subbase*), lapis pondasi agregat dengan atau tanpa bahan pengikat atau perkuatan (base), lapis permukaan (*surface course*) yang pada umumnya adalah campuran agregat dan aspal.



Gambar 2.1. Struktur Perkerasan Lentur
Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2017)

Didalam perkerasan lentur biasanya memiliki keuntungan dan kerugian antara lain:

Keuntungan menggunakan perkerasan lentur:

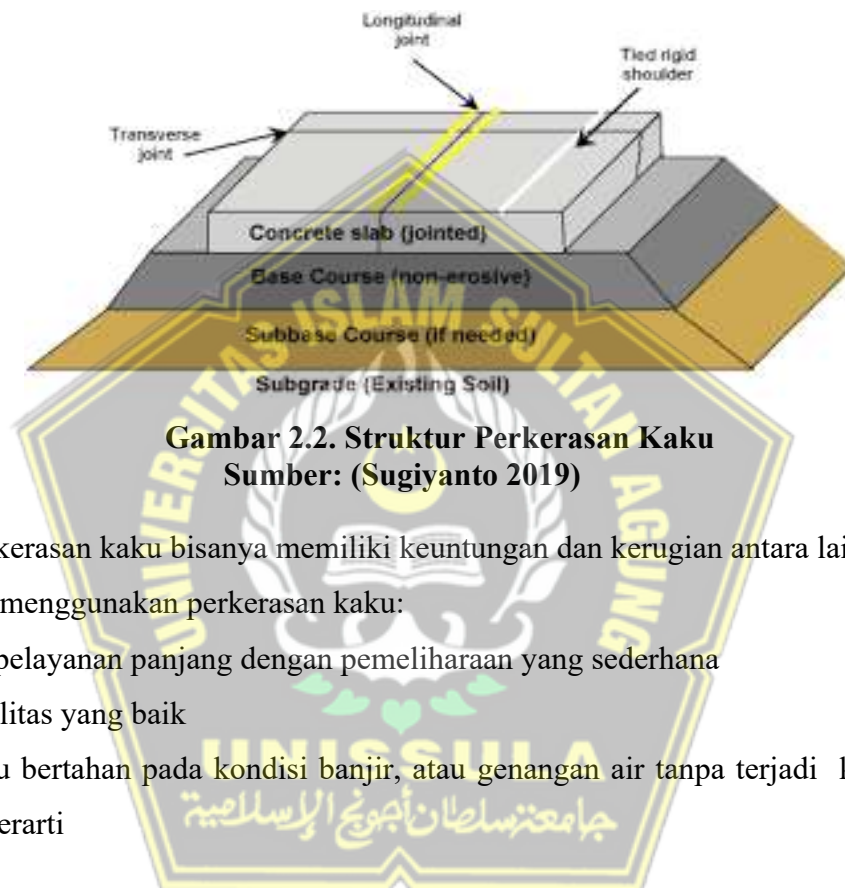
- Dapat digunakan pada daerah dengan perbedaan penurunan terbatas
- Mudah diperbaiki
- Tambahan lapisan perkerasan dapat dilakukan kapan saja
- Memiliki tahanan geser yang baik
- Warna perkerasan memberikan kesan tidak silau bagi pengguna jalan
- Dapat dilaksanakan bertahap, terutama pada kondisi biaya pembangunan terbatas atau kurangnya data untuk perencanaan

Kerugian menggunakan perkerasan lentur:

- Tebal total struktur perkerasan lebih tebal daripada perkerasan kaku
- Kelenturan dan sifat kohesi berkurang selama masa pelayanan
- Frekuensi pemeliharaan lapis lebih sering dapat menggunakan perkerasan kaku
- Tidak baik digunakan jika sering digenangi air
- Membutuhkan agregat lebih banyak

2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Adalah perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh plat beton. Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas tinggi, maka akan mendistribusikan beban ke tanah dasar sehingga bagian terbesar struktur perkerasan diperoleh dari pelat beton



Gambar 2.2. Struktur Perkerasan Kaku
Sumber: (Sugiyanto 2019)

Didalam perkerasan kaku bisanya memiliki keuntungan dan kerugian antara lain:

Keuntungan menggunakan perkerasan kaku:

- Umur pelayanan panjang dengan pemeliharaan yang sederhana
- Durabilitas yang baik
- Mampu bertahan pada kondisi banjir, atau genangan air tanpa terjadi kerusakan yang berarti

Kerugian menggunakan perkerasan kaku antara lain:

- Kekesatan jalan kurang baik dan sifat kekasaran permukaan dipengaruhi oleh proses pelaksanaan
- Memberikan kesan silau bagi pemakai/pengguna jalan
- Mebutuhkan lapisan tanah dasar yang memiliki penurunan (*Settlement*) yang homogen agar pelat beton tidak retak. Untuk mengatasi hal ini seringkali diatas permukaan tanah dasar diberi lapis pondasi bawah sebagai pembentuk lapisan homogen

3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur



Gambar 2.3. Struktur Perkerasan Kamposit
Sumber: (Sugiyanto 2019)

2.2. Campuran HRS (*Hot Rolled Sheet*)

Hot Rolled Sheet (HRS) merupakan salah satu jenis campuran beraspal panas yang dikembangkan dan digunakan secara luas di Indonesia. Istilah HRS diadopsi dari teknologi perkerasan aspal Inggris yang dikenal sebagai *Hot Rolled Asphalt* (HRA) tetapi disesuaikan dengan kondisi lalu lintas, iklim, serta ketersediaan material lokal di Indonesia (Sukirman, 1999). HRS adalah campuran beraspal panas dengan karakteristik gradasi senjang (*gap graded*) yaitu distribusi ukuran butir agregat yang tidak seragam sehingga menghasilkan lapisan dengan rongga tertentu yang kemudian diisi oleh aspal. Struktur gradasi senjang ini membuat campuran HRS memiliki tekstur kasar, stabilitas tinggi, dan ketahanan terhadap deformasi plastis (*rutting*) akibat beban lalu lintas berat (Hardiyatmo 2015). Berdasarkan fungsinya HRS digunakan sebagai lapisan pada konstruksi perkerasan lentur campuran ini dibedakan menjadi dua jenis utama yaitu HRS-Base dan HRS-*Wearing Course* (HRS-WC) yang masing-masing memiliki fungsi dan spesifikasi berbeda

1. HRS-Base (Lapis Pondasi Atas)

HRS Base berfungsi sebagai lapis pondasi atas dalam struktur perkerasan. Peran utamanya adalah menyalurkan beban lalu lintas dari lapisan aus (*surface course*) ke lapisan di bawahnya (*base atau subbase*) dengan stabilitas yang tinggi. Karena posisinya yang menahan beban langsung, HRS-Base harus menggunakan agregat dengan gradasi kasar, kuat, dan memiliki sifat mekanis yang baik. Lapisan ini tidak terlalu menuntut kehalusan tekstur, melainkan lebih mengutamakan stabilitas dan ketahanan terhadap deformasi permanen

2. HRS-WC (*Wearing Course* / Lapis Aus)

HRS-WC berfungsi sebagai lapisan penutup jalan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan dan lingkungan luar. Fungsi utamanya adalah memberikan kenyamanan berkendara, ketahanan aus, serta melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh cuaca (air, suhu, dan oksidasi). Dibandingkan dengan HRS-Base agregat yang digunakan dalam HRS-WC lebih halus agar permukaan jalan lebih rapat, kedap air, dan aman terhadap selip (*skid resistance*) (Sukirman 2013)

Spesifikasi teknis campuran HRS-Base di Indonesia mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yang menetapkan standar kinerja campuran beraspal berdasarkan parameter *Marshall Properties*. Parameter ini merupakan hasil uji laboratorium dengan Alat Marshall. *Marshall Properties* digunakan untuk menilai stabilitas, fleksibilitas, rongga udara, serta ikatan antara aspal dan agregat, sehingga campuran yang dihasilkan mampu memberikan keseimbangan antara stabilitas struktural dan durabilitas.

Adapun persyaratan teknis untuk campuran HRS-Base adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas Marshall (*Stability*) ≥ 800 kg

Stabilitas adalah kemampuan campuran untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi plastis yang berlebihan. Nilai stabilitas dihitung berdasarkan beban maksimum yang dapat diterima benda uji pada saat pengujian Marshall

- a. Apabila nilai stabilitas terlalu rendah campuran akan mudah mengalami rutting (alur permanen) dan deformasi plastis di bawah beban lalu lintas berat
- b. Nilai minimum 800 kg dipersyaratkan untuk menjamin campuran HRS-Base memiliki kekuatan yang cukup untuk menyalurkan beban dari kendaraan ke lapisan bawah

2. Kelelahan (Flow) = 2 – 4 mm

Flow adalah besarnya deformasi plastis (dalam mm) yang terjadi pada benda uji saat mencapai beban maksimum pada uji *Marshall*. *Flow* mencerminkan kelenturan campuran.

- a. Jika nilai flow terlalu rendah (< 2 mm), campuran menjadi terlalu kaku dan rentan terhadap retak akibat kelelahan
- b. Jika nilai flow terlalu tinggi (> 4 mm), campuran terlalu plastis dan mudah mengalami alur permanen
- c. Rentang 2 – 4 mm dipilih untuk memberikan keseimbangan antara fleksibilitas dan stabilitas struktural

3. *Marshall Quotient* (MQ) ≥ 250 kg/mm

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas terhadap *flow* sehingga merepresentasikan kekakuan (*stiffness*) dari campuran. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan campuran yang kaku dan stabil tetapi bisa mengurangi fleksibilitas. Dengan persyaratan ≥ 250 kg/mm, diharapkan campuran HRS-Base cukup kaku untuk menahan beban tetapi masih memiliki fleksibilitas yang memadai

4. *Void in Mix* (VIM) = 3 – 5 %

VIM adalah persentase volume rongga udara yang ada di dalam campuran aspal padat. VIM berfungsi untuk memberikan ruang untuk ekspansi aspal akibat kenaikan suhu, Menyediakan rongga agar campuran tidak terlalu rapat sehingga tidak terjadi bleeding. Jika rongga terlalu besar (> 5 %), campuran mudah kemasukan air dan udara yang dapat menyebabkan oksidasi aspal serta kerusakan akibat air

5. *Void in Mineral Aggregate* (VMA) ≥ 15 %

VMA adalah volume rongga di antara butir-butir agregat dalam campuran padat yang tersedia untuk diisi oleh aspal maupun udara. Jika nilai VMA terlalu rendah maka rongga antar butir agregat terlalu kecil sehingga aspal tidak cukup untuk melapisi permukaan agregat menyebabkan campuran mudah retak. Nilai minimum 15 % dipersyaratkan untuk menjamin lapisan aspal yang cukup sehingga campuran memiliki durabilitas dan ikatan yang baik

6. *Void Filled with Bitumen* (VFB) ≥ 65 %

VFB adalah persentase volume rongga agregat (VMA) yang terisi aspal. VFB menunjukkan seberapa banyak rongga antar agregat yang benar-benar terisi aspal. Nilai VFB yang terlalu rendah menunjukkan lapisan aspal tipis sehingga campuran mudah rusak akibat air. Nilai VFB yang terlalu tinggi dapat menyebabkan bleeding (aspal keluar ke permukaan jalan saat temperatur naik) dan Nilai $\geq 65\%$ dianggap optimum untuk menjaga campuran tetap kedap air, namun tetap stabil dalam kondisi lalu lintas berat.

2.3. Agregat dalam Campuran Beraspal

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran beraspal yang berfungsi sebagai kerangka struktural, di mana material ini menempati sekitar 90–95% volume atau sekitar 70–85% berat total campuran (Sukirman 2013). Dengan porsi yang sangat dominan tersebut sifat teknis dan karakteristik agregat akan sangat menentukan kualitas, kinerja, serta umur layan perkerasan jalan. Secara umum agregat didefinisikan sebagai butiran mineral alami seperti pasir, kerikil, atau batu pecah maupun hasil olahan dari sumber daya alam yang digunakan dalam campuran perkerasan jalan. Agregat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama berdasarkan ukuran butirannya

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah butiran agregat yang tertahan pada saringan No.4 (4,75), umumnya agregat kasar ini berupa kerikil, batu pecah, atau material hasil pemecahan batuan yang berfungsi sebagai kerangka utama campuran, sehingga memberikan kekuatan, stabilitas, serta menahan deformasi plastis pada lapisan perkerasan

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran agregat yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm), agregat halus ini dapat berupa pasir alami maupun hasil pecahan batuan. Agregat halus berperan dalam mengisi rongga antar butir agregat kasar, meningkatkan kelekatan dengan aspal, serta menjaga *workability* (kemudahan pengerjaan) campuran

3. Filler (Bahan Pengisi)

Filler adalah material berbutir sangat halus yang lolos saringan No.200 (0,075 mm), misalnya abu batu, semen, kapur, atau fly ash. Perannya sangat penting untuk

mengisi rongga mikro dalam campuran serta meningkatkan kepadatan, stabilitas, dan kohesi antara aspal dan agregat

Menurut (Sukirman 2013), agregat memiliki peran mendasar dalam menentukan kinerja perkerasan yaitu

1. Agregat berfungsi untuk memberikan kekuatan struktural pada campuran. Agregat kasar khususnya menjadi tulang punggung yang menanggung beban lalu lintas secara langsung. Distribusi ukuran butiran agregat yang sesuai akan menghasilkan kontak antarbutir (*interlocking*) yang kuat sehingga mampu meminimalkan pergeseran partikel ketika menerima beban berulang dari kendaraan. Dengan demikian keberadaan agregat kasar sangat menentukan kemampuan perkerasan dalam mendistribusikan beban ke lapisan bawah jalan
2. Agregat juga berperan dalam menjamin stabilitas dan kekakuan campuran. Campuran yang memiliki gradasi baik (*well-graded*) akan menghasilkan struktur yang padat, rapat, dan saling mengunci sehingga memperkuat ikatan antarpartikel. Hal ini membuat lapisan perkerasan lebih stabil dan mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi berlebihan. Stabilitas yang baik sangat penting untuk mempertahankan bentuk dan fungsi jalan dalam jangka waktu yang panjang
3. Agregat berfungsi untuk mengendalikan deformasi plastis (*rutting*). Rutting atau alur permanen pada permukaan jalan umumnya disebabkan oleh pergeseran partikel akibat beban lalu lintas berat secara berulang. Karakteristik gradasi bentuk dan kekasaran permukaan agregat sangat berpengaruh terhadap ketahanan campuran terhadap rutting. Agregat berbentuk kubikal dengan permukaan kasar lebih disukai karena meningkatkan *interlocking* dan mencegah terjadinya pergeseran partikel
4. Agregat memiliki peran penting dalam meningkatkan daya lekat (*adhesi*) dengan aspal. Permukaan agregat yang bersih, keras, dan memiliki tekstur kasar akan mempermudah pembentukan ikatan adhesi antara lapisan aspal dengan butiran agregat. Ikatan ini penting untuk menjaga kohesi internal campuran sehingga tidak mudah terjadi pengelupasan (*stripping*) akibat masuknya air ke dalam pori-pori campuran
5. Agregat juga membantu mengurangi rongga udara dalam campuran. Agregat halus dan filler berfungsi sebagai pengisi ruang di antara butiran agregat kasar sehingga rongga udara yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Hal ini sangat penting karena

rongga udara yang berlebihan dapat menyebabkan penetrasi air dan udara ke dalam lapisan perkerasan yang pada akhirnya mempercepat terjadinya kerusakan seperti retak atau pengelupasan. Dengan adanya pengisian rongga oleh partikel halus campuran beraspal menjadi lebih padat, lebih kedap air, dan lebih tahan lama terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem

Agar dapat digunakan dalam campuran beraspal agregat harus memenuhi persyaratan teknis tertentu. Menurut SNI 1969:2008, SNI 1970:2008, serta Spesifikasi Umum Bina Marga (2020) beberapa kriteria utama agregat adalah:

1. *Abrasi Los Angeles* (keausan maksimum) $\leq 40\%$
Menggambarkan ketahanan agregat terhadap keausan akibat gesekan dan tumbukan dan nilai penting untuk menjamin lapisan perkerasan tetap stabil saat menerima beban lalu lintas berat
2. Penyerapan Air $\leq 3\%$
Menunjukkan porositas agregat. Agregat dengan penyerapan air rendah lebih tahan terhadap kerusakan akibat siklus basah kering
3. Berat Jenis Bulk $\geq 2,5$
Menunjukkan kerapatan dan kekuatan agregat, semakin tinggi berat jenis semakin baik kontribusi terhadap kekuatan struktur campuran
4. Kepipihan dan Kelonjongan $\leq 25\%$
Bentuk butir yang terlalu pipih atau lonjong dapat menurunkan interlocking antar butir agregat sehingga mengurangi stabilitas
5. Kelekatan Agregat terhadap Aspal $\geq 95\%$
Menggambarkan kemampuan agregat untuk berikatan dengan aspal

2.4. Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan salah satu parameter paling penting dalam perancangan campuran beraspal. Secara sederhana gradasi dapat diartikan sebagai distribusi ukuran butir agregat dalam suatu sampel yang dinyatakan dalam bentuk persentase berat butiran yang lolos atau tertahan pada serangkaian saringan berstandar (Sukirman 2013). Distribusi ukuran butir ini sangat berpengaruh terhadap kepadatan, kekuatan, stabilitas, serta ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat lalu lintas dan cuaca. Agregat yang memiliki gradasi baik akan menghasilkan campuran yang padat dengan rongga

udara minimum sehingga campuran menjadi lebih stabil, kedap air, dan mampu mengikat aspal dengan baik. Sebaliknya, apabila gradasi tidak terkendali, misalnya terlalu banyak butiran halus atau sebaliknya terlalu banyak butiran kasar maka campuran yang dihasilkan cenderung memiliki porositas tinggi, mudah retak, atau mengalami deformasi permanen (*rutting*) di bawah beban lalu lintas

(Direktorat Jenderal Bina Marga 2018), gradasi agregat dapat dibedakan menjadi tiga jenis utama yaitu

1. Gradasi Rapat (*Dense Graded*), gradasi ini memiliki distribusi butiran yang kontinu dari ukuran kasar hingga halus. Rongga antar butir relatif kecil karena butiran halus mengisi ruang antar butir kasar. Campuran dengan gradasi rapat biasanya memiliki stabilitas dan kekuatan tinggi serta tingkat kepadatan yang baik sehingga sangat sesuai digunakan pada campuran beraspal struktural termasuk HRS-Base
2. Gradasi Senjang (*Gap Graded*), pada jenis gradasi ini terdapat satu atau lebih ukuran butir tertentu yang jumlahnya sangat sedikit atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini menyebabkan terbentuknya rongga antar butir yang relatif besar. Campuran *gap graded* biasanya digunakan pada campuran khusus dengan kadar aspal lebih tinggi seperti *stone matrix asphalt* (SMA) yang membutuhkan struktur rangka agregat kasar dengan mortar pengikat yang kuat
3. Gradasi terbuka (*Open Graded*), gradasi ini didominasi oleh butiran kasar dengan sedikit butiran halus akibatnya campuran memiliki rongga udara yang cukup besar dan tidak terlalu padat. Jenis ini umumnya digunakan untuk lapisan permukaan berpori yang bersifat drainase atau lapisan aus (*friction course*). Namun untuk lapisan struktural seperti HRS-Base, gradasi terbuka kurang sesuai karena tidak mampu memberikan kekuatan dan stabilitas yang memadai

Untuk mengetahui distribusi ukuran butir agregat dilakukan analisis saringan (*sieve analysis*). Pengujian ini mengacu pada standar SNI 1968:1990 atau ASTM C136, yang prinsipnya adalah menyaring sampel agregat melalui serangkaian saringan dengan ukuran lubang yang berbeda, mulai dari saringan berukuran hingga sangat halus.

2.4.1. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar

Analisis gradasi agregat adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat dan memeriksa apakah distribusi tersebut memenuhi

spesifikasi gradasi yang dipersyaratkan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar (Nasional 1990)

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari

- a. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji
- b. Satu set saringan; 3,75 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"), 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No.4 (4,75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm)
- c. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 + 5) ^\circ\text{C}$
- d. Alat pemisah
- e. Mesin pengguncang saringan
- f. Talam – talam
- g. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya

2. Benda Uji

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat banyak benda uji disiapkan berdasarkan standar yang berlaku dan terkait kecuai apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat- syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian

Agregat halus terdiri dari:

- Ukuran maksimum 4,76 mm; berat minimum 500 Gram
- Ukuran maksimum 2,38 mm; berat minimum 100 Gram

Agregat kasar terdiri dari:

- Ukuran maks. 3,5"; berat minimum 35,0 kg
- Ukuran maks. 3"; berat minimum 30,0 kg
- Ukuran maks. 2,5"; berat minimum 25,0 kg
- Ukuran maks. 2"; berat minimum 20,0 kg
- Ukuran maks. 1,5"; berat minimum 15,0 kg
- Ukuran maks. 1"; berat minimum 10,0 kg
- Ukuran maks. ¾" berat minimum 5,0 kg

- Ukuran maks. 1/2"; berat minimum 2,5 kg
- Ukuran maks. 3/8"; berat minimum 1,0 kg

Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan agregat kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi 2 bagian dengan saringan No. 4.; Selanjutnya agregat halus dan agregat kasar disediakan sebanyak jumlah seperti tercantum diatas.

3. Cara Pengujian

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(10 \pm 5) ^\circ\text{C}$, sampai berat tetap;
- b. Saring benda uji lewat susunan saringan den-an ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit;

4. Perhitungan

Hitunglah persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring

- Persentase tertahan per saringan

$$R_i = \frac{w_i}{W} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

- Persentase kumulatif tertahan

$$C_i = \sum_{i=1}^i R_i \dots\dots\dots 2.2$$

- Persentase lolos (passing)

$$P_i = 100\% - C_i \dots\dots\dots 2.3$$

- Fineness Modulus (FM) – untuk agregat halus

$$FM = \frac{\sum R_i \text{ (pada saringan 4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30; 0,15)}}{100} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

w_i = berat tertahan pada saringan ke-i (gram)

W = $\sum w_i$ = total berat contoh (gram)

- Ri = % tertahan pada saringan ke-i
Ci = % kumulatif tertahan sampai saringan ke-i
Pi = % lolos (passing) pada saringan ke-i

2.5. Sifat Fisik Agregat untuk HRS-Base

Dalam perencanaan campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet Base* (HRS-Base) agregat merupakan komponen utama yang menyusun sekitar 90–95% dari berat total campuran. Dengan proporsi yang dominan tersebut, mutu agregat secara langsung akan menentukan keberhasilan atau kegagalan suatu konstruksi perkerasan jalan. Agregat tidak hanya berfungsi sebagai pengisi (*filler*) atau kerangka utama tetapi juga sebagai media yang menopang gaya tekan, geser, dan tarik akibat beban lalu lintas. Oleh karena itu kualitas agregat harus diperhatikan dengan cermat agar campuran aspal yang dihasilkan dapat memenuhi standar kinerja perkerasan. Menurut Sukirman (2013) sifat fisik agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan struktural, stabilitas mekanis, ketahanan aus serta daya tahan terhadap pengaruh lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan air. Agregat yang baik akan mampu meningkatkan interlocking antar butiran, memperkuat daya lekat terhadap aspal serta mengurangi risiko deformasi permanen (*permanent deformation*) maupun kerusakan dini akibat sebaliknya agregat dengan mutu rendah misalnya rapuh, berpori besar, atau memiliki kandungan tanah liat tinggi, dapat menyebabkan lapisan HRS-Base mudah retak, aus, dan kehilangan kekuatan dalam waktu singkat.

Berdasarkan (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) serta standar nasional Indonesia (SNI) agregat yang akan digunakan dalam lapisan HRS-Base wajib melalui serangkaian pengujian laboratorium. Setiap pengujian memiliki tujuan tertentu baik untuk menilai kepadatan, kekerasan, keausan, daya serap, bentuk butir, kandungan halus, maupun adhesi terhadap aspal. Hasil pengujian ini kemudian dibandingkan dengan persyaratan teknis yang telah ditetapkan, sehingga dapat dipastikan bahwa agregat memenuhi kriteria kelayakan sebagai material perkerasan jalan. Adapun sifat fisik agregat yang lazim diuji dalam rangkaian penelitian HRS-Base antara lain meliputi: berat jenis dan penyerapan air, keausan agregat (*abrasi Los Angeles*), kandungan bahan plastis (*Sand Equivalent*), kadar bahan lolos saringan No.200, kekekalan bentuk agregat (*soundness test*), kelekatan terhadap aspal, indeks kepipihan dan kelonjongan, serta berat jenis bulk agregat. Seluruh

pengujian tersebut saling melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh tentang karakteristik agregat yang akan digunakan

2.5.1. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenis dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan. Pengujian dilakukan terhadap agregat kasar yaitu yang tertahan oleh saringan berdiameter 4,75 mm (saringan no. 4). Berat jenis dapat dinyatakan dengan berat jenis curah kering, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan atau berat jenis semu. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan) dan penyerapan air berdasarkan pada kondisi setelah (24 ± 4) jam direndam di dalam air. Cara uji ini tidak ditunjukkan untuk digunakan pada pengujian agregat ringan (Nasional 2008c)

1. Peralatan yang digunakan dalam Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Halus sebagai berikut
 - a. Timbangan, Timbangan harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI 03 – 6414 – 2002. Timbangan harus dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menggantung Wadah contoh uji didalam air pada bagian tengah-tengah alat penimbang
 - b. Wadah contoh uji, Suatu keranjang kawat 3,35 mm (Saringan No. 6) atau yang lebih halus, atau ember dengan tinggi dan lebar yang sama dengan kapasitas 4 sampai 7 liter untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm (Saringan No.1 1/2 inci) atau lebih kecil, dan wadah yang lebih besar jika dibutuhkan untuk menguji ukuran maksimum agregat yang lebih besar. Wadah harus dibuat agar dapat mencegah terperangkapnya udara ketika wadah ditenggelamkan
 - c. Tangki Air, Sebuah tangki air yang kedap dimana contoh uji dan wadahnya akan ditempatkan dengan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan, dilengkapi dengan suatu saluran pengeluaran untuk menjaga agar ketinggian air tetap
 - d. Alat Penggantung (Kawat), Kawat untuk menggantung wadah haruslah kawat dengan ukuran praktis terkecil untuk memperkecil seluruh kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.
 - e. Saringan 4,75 mm (No. 4), Saringan atau ukuran yang lain jika dibutuhkan

2. Langkah Pengujian

Langkah Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Halus sebagai berikut

- a. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap dengan temperatur $(110 \pm 5)0C$, dinginkan pada temperatur kamar selama satu sampai tiga jam untuk contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm (Saringan No. 1 1/2 in.) atau lebih untuk ukuran yang lebih besar sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan pada temperatur (kira-kira $500C$). Sesudah itu rendam agregat tersebut di dalam air pada temperatur kamar selama (24 ± 4) jam. Pada saat menguji agregat kasar dengan ukuran maksimum yang besar, akan memerlukan contoh uji yang lebih besar, dan akan lebih mudah di uji dalam dua atau lebih contoh yang lebih kecil, kemudian nilai-nilai yang diperoleh digabungkan dengan perhitungan-perhitungan
- b. Apabila nilai-nilai penyerapan dan berat jenis akan dipergunakan dalam menentukan proporsi campuran beton yang agregatnya akan berada pada kondisi alaminya, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat tetap dapat dihilangkan, dan jika permukaan partikel butir contoh terjaga secara terus-menerus dalam kondisi basah, perendaman sampai (24 ± 4) jam juga dapat dihilangkan. Sebagai catatan nilai-nilai untuk penyerapan dan berat jenis curah (jenuh kering permukaan) mungkin lebih tinggi untuk agregat yang tidak kering oven sebelum direndam dibandingkan dengan agregat yang sama
- c. Pindahkan contoh uji dari dalam air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air yang terlihat hilang. Keringkan air dari butiran yang besar secara tersendiri. Aliran udara yang bergerak dapat digunakan untuk membantu pekerjaan pengeringan. Kerjakan secara hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi jenuh kering permukaan. Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dan semua berat yang sampai nilai 1,0 Gram terdekat atau 0,1 persen yang terdekat dari berat contoh, pilihlah nilai yang lebih besar
- d. Setelah ditentukan beratnya, segera tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air, yang mempunyai kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada temperatur $(23 \pm 2)0C$. Hati-hatilah sewaktu berusaha menghilangkan udara yang terperangkap sebelum

menentukan berat tersebut, menggoncangkan wadah dalam kondisi terendam. Wadah tersebut harus terendam dengan kedalaman yang cukup untuk menutup contoh uji selama penentuan berat. Kawat yang menggantungkan kontainer tersebut harus memiliki ukuran praktis yang paling kecil untuk memperkecil kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam

- e. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, dinginkan pada temperatur-kamar selama satu sampai tiga jam, atau sampai agregat telah dingin

3. Perhitungan

a. Berat Jenis Curang Kering

Lakukanlah perhitungan berat jenis curah kering (S_d) pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:

- A : adalah berat benda uji kering oven (gram);
- B : adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);
- C : adalah berat benda uji dalam air (gram);

b. Berat Jenis Curah Kering Permukaan

Lakukanlah perhitungan berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dalam basis jenuh kering permukaan dengan rumus berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)} = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana:

- B : adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);
- C : adalah berat benda uji dalam air (gram).

c. Berat Jenis Semu

Lakukanlah perhitungan berat jenis semu (S_a), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dengan cara berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana:

A : adalah berat benda uji kering oven (gram);

C : adalah berat benda uji dalam air (gram).

d. Penyerapan Air

Hitunglah persentase penyerapan air (S_w) seperti dengan cara:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(B-A)}{A} \times 100\% \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana:

A : adalah berat benda uji kering oven (gram);

B : adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

2.5.2. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles dimaksudkan sebagai pegangan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin Abrasi Los Angeles. Pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan nomor 12 (1,7 mm) terhadap berat semula dalam persen. Pengujian ini dapat digunakan untuk mengukur keausan agregat kasar. Hasil pengujian bahan ini dapat digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton (Nasional 2008a)

1. Peralatan

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut

- a. Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28 inci) panjang dalam 508 mm (20 inci), silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar, silinder berlubang untuk memasukan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu. Di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5 inci)
- b. Saringan No. 12 (1,70 mm) dan saringan – saringan lainnya
- c. Timbangan dengan ketelitian 0,1% terhadap berat contoh atau 5 gram

- d. Bola – bola baja dengan diameter rata – rata 4,68 cm (127/32 inci) dan berat masing – masing antara 390 Gram sampai dengan 445 gram
- e. Oven yang dilengkapi dengan pengatur temperatur untuk memanasi sampai dengan 110 C – 50 C
- f. Alat bantu pan dan kuas

2. Benda Uji

Benda uji dipersiapkan dengan cara sebagai berikut

- a. Gradasi dan berat benda uji sesuai dengan tabel dibawah
- b. Bersikan benda uji dan keringkan dalam oven pada temperatur 1100 C + 50 C sampai berat tetap

3. Persiapan Benda Uji

Persiapan benda uji terdiri atas

- a. Cuci dan keringkan agregat pada temperatur 1100 C + 50 C sampai berat tetap
- b. Pisah – pisahkan agregat ke dalam fraksi – fraksi yang dikendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan
- c. Gabungkan kembali fraksi – fraksi agregat sesuai grading yang dikendaki
- d. Catat berat contoh ketelitian mendekati 1 Gram

4. Cara Pengujian

Cara pengujian yang dilaksanakan sebagai berikut

- a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat di lakukan berdasarkan tabel sebagai berikut

Tabel 2.1. Gradasi Dan Berat Benda Uji

Ukuran Saringan				Gradasi Dan Berat Benda Uji (gram)						
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	Inci	mm	Inci							
				-	-	-	-	2500±50	-	-
75	3,0	63	2 ½	-	-	-	-	2500±50		
63	2 ½	50	2,0		-			5000±50	5000±50	
50	2,0	37,5	1 ½		-				5000±25	5000±25
37,5	1 1/2	25	1	1250±25	-	-	-	-	-	5000±50
25	1	19	¾	1250±25	-					
19	¾	12,5	½	1250±10	2500±10					
12,5	½	9,5	3/8	1250±10	2500±10					

9,5	3/8	6,3	¼	-	-	2500±10				
6,3	¼	4,75	No. 4	-	-	2500±10	2500±10			
4,75	No. 4	2,36	No. 8	-	-	-	2500±10			
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat Bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

Sumber: (Nasional 2008a)

- a. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles
- b. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm; jumlah putaran gradasi A, gradasi B, gradasi C dan gradasi D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, gradasi F dan gradasi G adalah 100 putaran
- c. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No. 12 (1,70 mm); butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur 1000 C ± 50C sampai berat tetap
- d. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran dan setelah selesai pengujian disaring No. 12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No. 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20
- e. Metode pada butir 5) tidak berlaku untuk pengujian material dengan metode ASTM C 535 – 96 yaitu Standard test Method for Resistance to Degradation of Large – Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

5. Perhitungan

Untuk menghitung hasil pengujian gunakan rumus sebagai berikut

$$\text{Keausan} = \frac{(a-b)}{b} \times 100\% \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana:

- a = adalah berat uji semula, dinyatakan dalam gram
- b = adalah berat benda uji tertahan saringan No 12 (1,70 mm) dinyatakan dalam gram

2.5.3. Pengujian Setara Pasir (*Sand Equivalent*)

Pengujian setara pasir (*Sand Equivalent*) bermaksud untuk menentukan seberapa bersih agregat halus dari partikel – partikel halus berupa lempung dan debu yang dapat mengganggu mutu campuran. Nilai setara pasir menunjukkan perbandingan antara jumlah butiran pasir yang stabil dengan jumlah partikel lempung/debu yang mudah terdispersi dalam air, semakin tinggi nilai setara pasir semakin baik kualitas agregat halus jarena kandungan lempungnya rendah sehingga tidak mengganggu daya ikat dan kekuatan campuran beton atau aspal (Nasional 1997a)

1. Peralatan

Peralatan yang di gunakan dalam pengujian setara pasir (*sand equivalent*) adalah

- a. Tabung plastik atau gelas tembus pandang dan tidak berwarna, diameter bagian dalam 31,8 mm, diameter bagian luar 38,1 mm, tinggi 432 mm, permukaan luar tabung dilengkapi dengan skala dari 0 sampai 15 dalam batuan inci untuk pembacaan indikator pasir; bagian dasar tabung dari bahan yang sama berukuran 100 mm x 100 mm x 12,5 mm; tutup silinder dari karet atau gabus atau bahan lain yang tidak larut dalam larutan Calcium Chloride, USP Glycerine atau Formalin
- b. Pipa pengalir dari logam anti karat diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 508 mm; pipa siphon yang akan disambung dengan pipa pengalir diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 406 mm; pipa karet siphon diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 1220 mm; karet tiup yang disambung dengan tabung tiup dari tembaga diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 50,8 mm; tutup katet atau gabung dengan dua buah lubang yang akan dipasang pipa pengalir dan pipa tiup dari logam anti karat
- c. Beban pemberat dari tembaga seberat (1000 ± 5) gram termasuk tangkai logam keping pelat bundar dan telapak pembeban; tangkai logam dari kuningan diameter 6,35 mm, panjang 444,5 mm; indikator pembacaan skala pasir berbentuk keping pelat bundar dari nilon dengan diameter 12,7 mm, tebal 15,00 mm teletak sejauh 254 mm atau pada skala pembacaan 10; telapak pembeban terbuat dari kuningan berbentuk segi delapan dengan diameter 30,00 mm
- d. Dua buah botol kapasitas 3,79 Liter atau 1 galon masing-masing untuk menyimpan larutan baku yang dibuat sesuai uraian pada butir 2.2.2 di bawah dan larutan kerja

yang dapat ditempatkan di atas rak dengan tinggi (915 ± 25) mm dari permukaan kerja

- e. Saringan nomor 4 (4,76 mm)
- f. Tabung penakar terbuat dari logam berdiameter bagian dalam 57 mm yang mempunyai volume (85 ± 5) ml, dilengkapi dengan mistar pendatar
- g. Corong dengan mulut lebar berdiameter 100,00 mm untuk memindahkan benda uji ke dalam tabung plastik
- h. Panci lebar yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan pembuat larutan baku dan larutan kerja
- i. Arloji pengukur waktu dengan satuan menit dan detik
- j. Alat pengaduk dan oven dengan pengatur suhu (100 ± 5) °C
- k. Alat pengocok dapat digunakan salah satu dari alat berikut ini: alat pengocok mekanis setara pasir yang dapat bergerak sejauh ($203,2 \pm 1,02$) mm, dan dapat beroperasi sebanyak (175 ± 2) gerakan permit, alat pengocok manual yang mampu bergerak sebanyak 100 gerakan selama (45 ± 5) detik dengan jarak gerakan sejauh ($127 \pm 5,08$) mm dan dengan menggunakan tangan yang mampu menggerakkan tabung secara mendatar sebanyak 90 gerakan selama 30 detik sejauh 200 sampai dengan 250 mm

2. Persiapan Pengujian

a. Persiapan Larutan Baku dan Larutan Kerja

Cara Penyiapan Larutan Baku

- Timbang bahan-bahan 454 Gram Technical Anhydrous CaCl_2 , 2050 Gram (± 1640 ml) USP Glycerine dan 47 Gram (± 45 ml) Formaldehyde dengan kepekatan 40% isi dalam larutan
- Larutan CaCl_2 ke dalam 1890 ml air suling
- Saring dengan saringan Wattman Nomor 12
- Tambahkan Glycerine dan Formaldehyde ke dalam larutan tadi kemudian aduk sampai merata

Cara Penyiapan Larutan Kerja

- Encerkan (85 ± 5) ml larutan baku dengan air suling sampai ± 3780 ml dan aduk sampai merata

- Masukkan ke dalam botol, tutup dengan tutup karet atau kayu gabus yang telah dilengkapi dengan pipa-pipa

b. Persiapan Peralatan

- Isi sebuah botol dengan larutan kerja sebanyak 3,8 liter; tempatkan botol lebih tinggi (914 ± 25) mm dari dasar tabung plastik penguji
- Pasang pipa-pipa karet yang diperlukan, satu pipa karet ujungnya dihubungkan dengan pipa siphon yang menyentuh dasar botol larutan kerja, dan ujung lainnya dihubungkan dengan pipa pengalir; hubungkan pipa karet yang lain dengan pipa tiup yang terpasang pada tutup botol larutan kerja

c. Persiapan Benda Uji

Gunakan salah satu metode penyiapan benda uji dari dua alternatif metode berikut ini
Metode kering udara, dimana Isikan bahan yang sudah disaring dan diperempat sebanyak 85 ml ke dalam tabung penakar sampai berlebih, kemudian padatkan dengan cara mengetuk ngetuk bagian bawah tabung penakar pada meja atau permukaan yang keras sampai mantap; ratakan dengan menggunakan mistar pendatar

Metode pra-basah

- Campur air pada bahan yang sudah disaring dan diperempat sampai berupa pasta, remas-remas dengan tangan dan kepal-kepal hingga bulat sehingga kalau dibiarkan tidak buyar
- tambahkan air bila kadar air dalam pasta terlalu kering yang mengakibatkan pasta akan buyar; keringkan pula bila ternyata kelebihan air dan diaduk kembali agar merata
- Simpan pasta yang sudah disiapkan di dalam panci, tutup dengan penutup kain atau lap, biarkan selama tidak kurang dari 15 menit
- Pindahkan contoh uji di atas kain lap tadi, bungkus dan aduk-aduk dengan meremas-remas bagian luar kain pembungkus tersebut; kumpulkan benda uji di tengah-tengah kain tersebut setelah diperkirakan seragam
- Isikan benda uji sebanyak 85 ml ke dalam tabung penakar dan tekan tekan kembali dengan telapak tangan, padatkan dan ratakan.

d. Pelaksanaan Pengujian

Dengan menggunakan salah satu alternatif metode pada SNI 03-4428-1997 maka lakukan hal-hal sebagai berikut

- Ambil benda uji sebanyak 85 ml, keringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap kemudian dinginkan pada suhu ruang
- Isi tabung plastik dengan larutan kerja sampai skala 5
- Masukkan benda uji yang sudah dikeringkan dan lolos saringan nomor 4 (4,76 mm) ke dalam tabung plastik, ketuk-ketukan untuk beberapa saat kemudian diamkan selama 10 menit
- Tutup tabung dengan penutup karet atau kayu gabus, kemudian miringkan sampai hampir mendat dun kocok dengan salah satu alat pengocok
- Tambahkan larutan kerja dengan cara mengalirkan larutan melalui pipa pengalir, mulai dari bagian bawah pasir bergerak ke atas, sehingga lumpur yang terdapat di bawah permukaan pasir naik ke atas lapisan pasir; tambahkan larutan kerja sampai skala 15, kemudian biarkan selama $(20 \text{ menit} \pm 15 \text{ detik})$
- Baca dan catat skala pembacaan permukaan koloid (A) sampai satu angka di belakang koma
- Masukkan beban perlahan-lahan sampai permukaan lapisan pasir; baca skala pembacaan pasir (B) yang ditunjukkan oleh keping skala pembacaan pasir dikurangi dengan tinggi tangkai penunjuk (pada umumnya 10 skala), sampai satu angka di belakang koma.

3. Perhitungan

Nilai Setara Pasir (SP) dalam satuan persen dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Nilai SP} = B/A \times 100\% \quad \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan

A = Skala pembacaan permukaan lumpur

B = Skala pembacaan pasir.

2.5.4. Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)

Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencana dan pelaksana pembangunan jalan. Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan nomor 200 (0,075mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 batas maksimum lolos saringan No. 200 (0,075 mm) untuk agregat kasar tertahan saringan 4,75 mm maksimum 1% dan untuk agregat halus lolos saringan 4,75 mm maksimum 3% (Nasional 1996)

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Saringan terdiri dari dua ukuran yang bagian bawah dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) dan di atasnya, saringan Nomor 16 (1,18 mm)
- b. Wadah untuk mencuci mempunyai kapasitas yang dapat menampung benda uji sehingga pada waktu pengadukan (pelaksanaan pencucian) benda uji dan air pencuci tidak mudah tumpah
- c. Timbangan dengan ketelitian maksimum 0,1 % dari berat benda uji
- d. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 - 5) °C

2. Bahan Pembersih

Bahan yang digunakan adalah bahan pembersih seperti detergent atau sabun untuk mempermudah pemisahan bahan halus yang melekat pada agregat

3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat dalam kondisi kering oven dengan berat tergantung pada ukuran maksimum agregat sesuai dengan

Tabel 2.2. Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji

Ukuran Maksimum Agregat		Berat Kering Benda Uji
Ukuran Saringan	MM	Gram
No. 8	2,36	100
No. 4	4,75	500

3/g	9,50	1000
3/4	19,00	2500
>1 ½	> 38,10	5000

Sumber: SNI 03-4142-1996

4. Cara Uji

a. Persiapan

Lakukan tahapan persiapan sebagai berikut

- Siapkan peralatan yang akan digunakan
- Tulis identitas benda uji ke dalam formulir pengujian
- Saring contoh agregat sesuai SNI-1969-1990, tentang Pengujian Analisa
- Saringan Agregat Halus dan Kasar, untuk mengetahui ukuran maksimum
- Agregat
- Siapkan benda uji dalam kondisi kering oven dengan melalui alat pemisah contoh, tentukan beratnya sehingga memenuhi ketentuan

b. Pelaksanaan Pengujian

Lakukan pelaksanaan pengujian sebagai berikut

- Timbang wadah tanpa benda uji
- Timbang benda uji dan masukan ke dalam wadah
- Masukan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam
- Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan air pencuci sehingga mempermudah memisahkannya
- Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan Nomor 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang
- Ulangi pekerjaan butir (3), (4) dan (5), sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih
- Kembalikan semua benda Uji yang tertahan saringan Nomor 16 (1.18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu

(110±5) °C, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh

- Hitung persen bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dengan rumus-rumus perhitungan

5. Perhitungan

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut

- a. Berat kering benda uji awal

$$W3 = W1 - W2$$

- c. Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W5 = W4 - W2$$

- d. Bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$W6 = \frac{W3 - W5}{W3} \times 100\%$$

Keterangan:

W1 = berat kering benda uji + wadah (gram)

W2 = berat wadah (gram)

W3 = berat kering benda uji awal (gram)

W4 = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

W6 = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

2.5.5. Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Aspal

Penyelimutan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan agregat yang diselimuti aspal terhadap permukaan agregat. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 standart hasil pengujian penyelimutan dan pengelupasan minimum 95% butir agregat harus tertutup oleh aspal (*coating*) dan maksimum 5% pengelupasan (*stripping*) akibat perendaman dalam air. Alat dan bahan yang digunakan adalah cawan, timbangan, pisau pengaduk (*spatula*), oven, saringan, agregat, air suling dan aspal (Nasional 1991a). Adapun cara pengujian sebagai berikut

- a. Agregat yang telah dipilih dan disiapkan dilapisi dengan aspal pada temperatur yang telah ditentukan sesuaidengan kelas (*grade*) aspal yang digunakan

- b. Bila digunakan aspal cair (cut back asphalt) agregat yang diselimuti aspal dibiarkan pada temperatur 60°C
- c. Bila digunakan aspal elmusi, agregat yang diselimuti aspal dibiarkan pada temperatur
- d. Setelah penyelimutan bila digunakan aspal semi padat atau setelah mengikat untuk aspal cair, aspal elmusi, agregat yang diselimuti direndam dalam air suling selama 16 – 18 jam pada temperatur ruang

1. Peralatan

- a. Cawan untuk tempat mengaduk, mempunyai sudut – sudut membulat, kapasitas minimum 500 ml
- b. Timbangan dengan kapasitas 200,0 gram dan dengan ketepatan ketelitian sampai dengan 0,1 gram
- c. Pisau pengaduk (spatula) terbuat dari baja dengan lebar sekitar 25 mm dan panjang 100 mm
- d. Oven dilengkapi dengan lubang udara dan pengatur temperatur untuk memanaskan antara 60°C dan 149°C dengan ketelitian 1°C
- e. Saringan standar ukuran 6,3 mm dan 9,5 mm sesuai dengan SNI 03-6866-2002

2. Bahan

Agregat

- a. Agregat lolos saringan 9,5 mm dan tertahan saringan 6,3 mm
- b. Agregat untuk pengujian penyelimutan kering dicuci dalam air suling untuk menghilangkan butiran halus, dikeringkan pada temperatur 135°C sampai dengan 149°C sampai berat tetap dan simpan dalam wadah kedap udara sampai saat akan digunakan
- c. Agregat untuk pengujian basah sesuai agregat sampai merata pada temperatur ruang selama tidak lebih dari 5 menit menggunakan spatula sampai seluruh agregat terselimuti aspal. Bila terdapat selaput tipis kecokelatan atau bidang selaput transparan dianggap diselimuti aspal

Air Suling

Jika perlu, air suling dididihkan lagi atau disuling ulang sehingga mempunyai pH antara 6,0 dan 7,0. Jangan menggunakan elektrolit jenis apapun untuk mengoreksi pH

Aspal

Bila evaluasi jenis aspal telah diusulkan gunakan aspal dari jenis kelas dan sumber yang diusulkan tersebut untuk digunakan pada pelaksanaan pekerjaan. Bila diusulkan menggunakan bahan tambah (additives), tambahkan pada aspal dalam jumlah yang ditentukan dan aduk dengan sempurna sebelum pengujian

3. Prosedur

Berikut ini prosedur pengujian untuk beberapa bahan yang terdiri dari agregat kering dengan aspal cair, agregat kering dengan aspal emulsi, agregat basah dengan aspal cair dan agregat kering dengan aspal semi padat

Agregat kering dengan aspal cair

a. Penyelimutan

- Timbangan (100 + 1) gram agregat kering oven pada temperatur ruang ke dalam wadah
- Tambahkan (5,5 + 0,2) gram aspal cair yang telah dipanaskan sesuai dengan persyaratan
- Aduk dengan agregat sampai merata menggunakan spatula selama 2 menit

Tabel 2.3. Temperatur Aspal Untuk Pengadukan

Bahan Aspal	Temperatur
Aspal cair, kelas 30 dan 70	Temperatur ruang
Aspal cair, kelas 250	(35 + 3)'C
Aspal cair, kelas 800	(52 + 3)'C
Aspal cair, kelas 3000	(68 + 3)'C

Catatan: untuk aspal cair kelas 250, kelas 800 dan kelas 3.000 bahan dalam wadah dapat dihangatkan di atas pelat pemanas, cukup hanya untuk mengefektifkan pencampuran tetapi tidak boleh dilakukan di atas temperatur

Sumber: (Nasional 1991a)

b. Pengikatan (curing)

- Masukkan campuran beserta wadahnya ke dalam oven selama 2 jam pada temperatur 60°C selama tahap proses pengikatan lubang angin pada oven harus dibuka
- Setelah mengikat aduk kembali dengan spatula atau sampai aspal pada agregat melekat sempurna kemudian campuran didinginkan pada temperatur ruang
- Perhatikan bahwa tidak boleh terlihat ada bagian agregat yang belum terselimuti aspal

c. Perendaman

- Pindahkan campuran ke wadah gelas isi 600 ml. penuh segera dengan air suling sebanyak 400 ml pada temperatur ruang (kira – kira 25°C)
- Biarkan campuran direndam selama 16 jam sampai dengan 18 jam

Agregat kering dengan aspal emusi mengendap cepat

a. Penyelimutan

- Timbangan (100 + 1) gram agregat kering oven pada temperatur ruang ke dalam wadah
- Tambahkan (8,0 + 0,2) gram aspal emusi
- Aduk aspal emusi dengan agregat sampai merata pada temperatur ruang selama tidak lebih dari 5 menit menggunakan spatula sampai seluruh agregat terselimuti aspal. Bila terdapat selaut tipis kecokelatan atau bidang selaput transparan dianggap diselimuti aspal

b. Pengikatan (curing)

Masukkan campuran ke dalam oven sesuai dengan uraian di atas pada temperatur 135°C

2.5.6. Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat

Pengujian kekekalan bentuk (soundness) merupakan kemampuan agregat untuk tetap utuh (tidak hancur), pecah atau terdegradasi setelah mengalami kondisi basah –

kering atau siklus pembekuan – pencairan yang disimulasikan dengan larutan garam. Uji yang digunakan terdiri dari agregat halus dan agregat kasar yang disiapkan sesuai dengan persyaratan yang telah diatur berdasarkan SNI 03-3407-2008. Cara uji ini mencakup menentukan kekekalan agregat dari proses disintegrasi oleh larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat jenuh. Hal tersebut dilakukan dengan cara perendaman agregat secara berulang – ulang di dalam larutan natrium atau magnesium sulfat jenuh yang diikuti dengan pengeringan menggunakan oven untuk menguapkan sebagian atau keseluruhan garam terlarut di dalam ruang pori permeabel. Pengujian ini menggunakan peralatan dan larutan kimia berbahaya sehingga penggunaan peralatan keselamatan kerja sangatlah diperlukan selama melakukan pengujian ini. Prosedur pengujian kekekalan bentuk (*soundness*) terdiri dari perendaman uji dalam larutan, pengeringan uji setelah perendaman, jumlah perendaman dan pengujian secara kuantitatif.

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari

- a. Saringan, ukuran saringan yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 2.4. Ukuran Saringan Untuk Agregat Halus Dan Agregat Kasar

Ukuran Saringan Untuk Agregat halus		Ukuran Saringan Untuk Agregat Kasar	
4,75 mm	(No. 4)	63 mm	(2 ½ Inchi)
4,00 mm	(No. 5)	50 mm	(2 Inchi)
2,40 mm	(No.8)	37,5 mm	(1 ½ Inchi)
1,20 mm	(No. 16)	31,5 mm	(1 Inchi)
600 µm	(No. 30)	25,0 mm	(3/4 Inchi)
300 µm	(No.50)	16,0 mm	(5/8 Inchi)
150 µm	(No. 100)	12,5 mm	(1/2 Inchi)
		9,5 mm	(3/8 Inchi)
		8,0 mm	(5/16 Inchi)

Sumber: (Nasional 1994)

- b. Wadah untuk agregat kasar merupakan kawat kasa berbentuk tabung yang bagian atasnya terbuka yang mempunyai ukuran bukaan saringan 2,36 mm (No.8). wadah untuk agregat halus merupakan Kawat kasa berbentuk tabung yang bagian atasnya terbuka yang mempunyai ukuran bukaan saringan 250 µm (No.60)
- c. Peralatan untuk merendam contoh uji dalam larutan, Apabila diperlukan, peralatan untuk menahan wadah saringan yang berisi contoh uji yang akan direndam dalam

larutan harus disusun sedemikian rupa agar memudahkan masuknya larutan ke dalam contoh uji dan pengeringan larutan dari contoh uji

- d. Pengatur temperatur, Peralatan yang sesuai untuk mengatur temperatur contoh uji selama perendaman dalam larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat
 - e. Termometer, Sebuah termometer yang mempunyai rentang temperatur yang direkomendasikan untuk larutan selama pengujian dan mempunyai ketelitian sampai $0,1^{\circ}\text{C}$
 - f. Pencatat temperatur, Suatu alat yang dapat mencatat temperatur minimum larutan setiap 10 menit sekali selama waktu pengujian dengan ketelitian sampai $0,3^{\circ}\text{C}$
 - g. Timbangan, Timbangan harus mempunyai kapasitas yang cukup, dengan ketelitian minimal sampai 0,1 persen dari berat contoh uji
 - h. Oven pengering, Oven harus dapat memanaskan secara terus menerus pada temperatur $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$ dan laju penguapan pada daerah temperatur tersebut sedikitnya 25 g/jam selama 4 Jam. Selama periode tersebut pintu oven harus selalu tertutup rapat. Besarnya laju dapat ditentukan dengan mengukur kehilangan berat air dalam wadah gelas berkapasitas 1 liter, masing - masing gelas berisi 500 Gram air yang ditempatkan di setiap sisi dan tengah oven
 - i. Alat pengukur berat jenis, Sebuah hidrometer yang sesuai dengan yang disyaratkan dalam ASTM E 100 atau suatu kombinasi yang sesuai antara gelas ukur dan timbangan, yang mampu mengukur berat jenis larutan dengan ketelitian $+ 0,001$.
2. Prosedur Perendaman Uji Dalam Larutan
- a. Rendamlah contoh uji dalam larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat yang telah disediakan selama 16 jam dan maksimum 18 jam dengan jumlah yang cukup sehingga larutan tersebut dapat merendam seluruh permukaan contoh uji dengan ketinggian kurang lebih 12,5 mm (1/2 inci)
 - b. Tutuplah wadah dengan rapat untuk mengurangi penguapan dan mencegah masuknya substansi lain
 - c. Selama periode perendaman, aturlah temperatur perendaman pada $20,30\text{C}$ sampai $21,90\text{C}$

3. Pengeringan Uji Setelah Perendaman
 - a. Setelah periode perendaman, keluarkanlah contoh uji dari dalam larutan
 - b. Biarkanlah meniris selama (15 ± 5) menit, lalu keringkan di dalam oven pada temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai diperoleh berat konstan, berat konstan diperoleh apabila diperoleh kehilangan berat kurang dari 0,1% dari berat contoh uji selama 4 jam pengeringan
 - c. Setelah diperoleh berat konstan diingkan contoh uji pada temperatur 200°C sampai 250°C (apabila diperlukan gunakan AC atau kipas angin) sebelum direndam kembali di dalam larutan

4. Jumlah perendaman
 - a. Ulangilah proses perendaman dan pengeringan contoh uji sampai batas waktu yang disyaratkan (secara umum sedikitnya dilakukan 5 kali proses)
 - b. Biasanya pengujian dilakukan secara terus – menerus tanpa berhenti sampai batas waktu tertentu tetapi apabila pengujian terpaksa dihentikan untuk sementara simpanlah contoh uji di dalam oven pada temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai pengujian dilanjutkan kembali
 - c. Periksalah kembali temperatur, pastikan bahwa batas temperatur maksimum larutan tidak terlewati

5. Pengujian Secara Kuantitatif
 - a. Setelah seluruh periode proses perendaman dan pengeringan selesai dan setelah contoh uji dingin, cucilah contoh uji agar bebas dari natrium atau magnesium sulfat. Cucilah dengan air mengalir pada temperatur $(43 \pm 6)^\circ\text{C}$ dengan cara mengalirkan air panas ke dalam wadah contoh sampai meluap keluar, untuk memastikan bahwa contoh uji telah bebas dari natrium sulfat atau magnesium sulfat, periksalah air cucian dengan larutan barium klorida 0,2 M jika tidak terdapat endapan putih dari barium sulfat maka pencucian sudah selesai. Selama proses pencucian jagalah contoh uji dari guncangan atau tumbukan yang dapat membuat pecah atau retaknya contoh uji
 - b. Setelah contoh uji bebas dari natrium sulfat atau magnesium sulfat, keringkanlah masing-masing fraksi contoh uji pada temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai diperoleh

berat konstan. Saringlah agregat halus dengan ukuran saringan yang sama pada saat persiapan contoh uji. Untuk agregat kasar gunakanlah saringan dengan ukuran sebagai berikut:

Tabel. 2.5 Ukuran Saringan Yang Digunakan Untuk Agregat Kasar Setelah Pengujian

Untuk Fraksi	Saringan Yang Digunakan
63,00 mm – 37,00 mm	31,50 mm
37,50 mm – 19,00 mm	16,00 mm
19,00 mm – 9,50 mm	8,00 mm
9,50 mm – 4,75 mm	4,00 mm

Sumber: (Nasional 1994)

Untuk agregat halus metode dan lamanya penyaringan sama dengan pada saat persiapan contoh uji, untuk agregat kasar penyaringan dapat dilakukan dengan tangan, jangan dilakukan paksaan butiran agar menembus lubang saringan. Timbang dan catatlah berat contoh yang tertahan pada masing-masing saringan. Perbandingan berat antara masing-masing fraksi setelah diuji dengan berat awal dari masing-masing fraksi tersebut adalah kehilangan berat akibat pengujian yang akan dibandingkan dengan persentase contoh uji awal.

1. Pelaporan

Laporan yang dibuat harus memuat

- a. Jumlah dan lokasi pengambilan contoh uji
- b. Jenis larutan yang digunakan
- c. Berat masing – masing fraksi contoh sebelum dan sesudah pengujian
- d. Berat masing – masing fraksi yang tertahan saringan
- e. Berat setiap bagian fraksi yang hilang
- f. Berat setiap bagian fraksi yang tidak di uji (untuk fraksi yang jumlahnya tidak sesuai dengan yang disyaratkan)
- g. Persentase kehilangan berat masing-masing fraksi dan secara keseluruhan
- h. Untuk fraksi yang lebih kasar dari 19,0 mm (3/4 inci), laporkanlah jumlah butiran pada setiap fraksi sebelum pengujian dan setelah pengujian (jumlah yang retak, belah, pecah, hancur dan lain sebagainya)
- i. Metode penghancuran agregat untuk contoh yang berasal dari batuan besar

2. Ketelitian

Untuk agregat kasar dengan persentase rata – rata kehilangan berat akibat sulfat antara 6 persen sampai 16 persen jika menggunakan larutan natrium dan 9 persen sampai 20 persen jika menggunakan larutan magnesium, indeks ketelitiannya ditunjukkan dalam Tabel berikut

Tabel 2.6. Indeks Ketelitian Pengujian Untuk Multi Laboratorium Dan Satu Operator

Jenis Pengujian	Koefisien variasi (%)	Perbedaan antara dua pengujian (% rata -rata)
Multi laboratorium:		
▪ Natrium sulfat	41	116
▪ Magnesium sulfat	25	71
Satu operator:		
▪ Natrium sulfat	24	68
▪ Magnesium sulfat	11	31
Catatan Nilai-nilai ketelitian di atas berdasarkan pada hasil pengujian yang sesuai dengan metode ini yang direvisi pada tahun 1991. hasil revisi pada tahun 1991 tersebut diperkirakan dapat meningkatkan ketelitian dari metode tersebut.		

Sumber: (Nasional 1994)

3. Perhitungan

Untuk menghitung pengujian kekekalan bentuk (*Soundness*) menggunakan rumus sebagai berikut

- Persentase bahan yang lolos saringan setelah pengujian (%)

$$X (\%) = \frac{(B-C)}{B} \times 100\% \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana:

X = adalah persentase bahan yang lolos saringan setelah pengujian (%)

B = adalah berat contoh uji awal (gram)

C = adalah berat contoh uji tertahan saringan setelah pengujian (gram)

- Persentase berat bagian contoh uji yang hilang (%)

$$Y (\%) = \frac{(X)}{100} \times A \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana:

- Y = adalah persentase berat bagian contoh uji yang hilang (%)
X = adalah persentase bahan yang lolos saringan setelah pengujian (%)

2.5.7. Uji Kuantitas Butiran Pipih, Lonjong Atau Pipih Dan Lonjong Dalam Agregat Kasar

Maksud dari pengujian bentuk dan tekstur butiran adalah untuk mengetahui dan mengevaluasi kualitas agregat kasar dari segi bentuk geometrisnya khususnya untuk mengukur proporsi butiran yang memiliki bentuk pipih, panjang atau gabungan keduanya. Bentuk butiran yang ideal untuk digunakan dalam campuran beton maupun campuran beraspal adalah yang mendekati kubikal atau bulat karena bentuk tersebut memberikan kontak yang baik antar butir, distribusi rongga yang kecil serta kekuatan mekanis yang tinggi. Sebaliknya butiran yang terlalu pipih (*flat*) atau terlalu panjang (*elongated*) memiliki luas permukaan yang besar dengan ketebalan kecil sehingga mudah patah, sulit tersusun rapat, dan dapat meningkatkan rongga antar butiran dalam campuran.

Adanya proporsi yang tinggi dari butiran pipih dan panjang juga dapat mengganggu proses pencampuran dan pemadatan, mengurangi kepadatan maksimum yang bisa dicapai, meningkatkan kebutuhan bahan pengikat (semen atau aspal), dan pada akhirnya menurunkan kekuatan dan daya tahan campuran yang dihasilkan. Oleh karena itu pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa proporsi butiran dengan bentuk tidak ideal masih berada dalam batas yang diperbolehkan sesuai standar mutu, sehingga agregat yang digunakan tetap layak dan aman untuk pekerjaan konstruksi. Dengan demikian hasil pengujian bentuk dan tekstur butiran sangat penting untuk menjamin kualitas, kekuatan, dan keawetan struktur yang dibangun.

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Mikroskop Stereo / Lensa Pembesar berfungsi untuk mengamati tekstur permukaan agregat
- b. Alat Peraga Visual (*Comparison Chart*) berupa standar visual foto/diagram permukaan agregat (*polished, smooth, rough, very rough*)
- c. Hand Lens (kaca pembesar) berfungsi untuk identifikasi sederhana di lapangan/laboratorium

- d. Peralatan Saringan berfungsi untuk pemisahan ukuran sebelum dilakukan pengamatan tekstur
- e. Oven untuk mengeringkan agregat sebelum di uji
- f. Container / Wadah Sampel
- g. Alat Tulis / Data Sheet untuk pencatatan hasil

2. Cara Pengujian

Tata cara pengujian ini berdasarkan (Nasional 1997b). Tata cara pengujian material sebagai berikut

- a. Pengujian ini dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu berdasarkan berat dan jumlah butiran. Jika pengujian dinyatakan dalam berat, maka benda uji harus dikeringkan di dalam oven pada temperatur $110\ 0C \pm 5\ 00C$ ($230\ 0F \pm 9\ 0F$). Jika pengujian dinyatakan dalam jumlah butiran, maka pengeringan benda uji tidak diperlukan
- b. Benda uji disaring sesuai metode pengujian SNI ASTM C 136:2012. Dengan Benda uji disaring sesuai metode pengujian SNI ASTM C 136:2012. Dengan menggunakan bahan yang tertahan ayakan 9,5 mm (3/8 inci) atau 4,75 mm (No.4) sesuai menggunakan bahan yang tertahan ayakan 9,5 mm (3/8 inci) atau 4,75 mm (No.4) sesuai dengan yang ditetapkan dalam spesifikasi, reduksi masing-masing fraksi yang beratnya kira dengan yang ditetapkan dalam spesifikasi, reduksi masing-masing fraksi yang beratnya kira kira 10% atau lebih dari berat contoh semula sesuai dengan SNI 13-6717-2002, sampai kira 10% atau lebih dari berat contoh semula sesuai dengan SNI 13-6717-2002, sampai untuk tiap fraksi diperoleh kira-kira 100 butir. Fraksi agregat dengan berat kurang dari 10% untuk tiap fraksi diperoleh kira-kira 100 butir. Fraksi agregat dengan berat kurang dari 10% dari berat total semula tidak dari berat total semula tidak diuji dan dapat diabaikan
- c. Lakukan pengujian untuk masing -masing fraksi ukuran butiran dan kelompok dalam salah satu dari empat kelompok yaitu (1) butiran pipih, (2) butiran lonjong, (3) butiran yang memenuhi kriteria keduanya baik kelompok (1) maupun kelompok (2); (4) butiran tidak pipih atau butiran tidak lonjong yang tidak memenuhi kriteria keduanya baik kelompok (1) atau kelompok (2)
- d. Gunakan jangka ukur proporsional pada posisis dengan perbandingan yang sesuai dengan ketentuan

- e. Pengujian butiran agregat pipih atur bukaan yang besar sesuai lebarnya butiran. Butiran adalah pipih, jika ketebalannya dapat ditempatkan dalam bukaan yang lebih kecil
- f. Pengujian butiran agregat lonjong atur bukaan yang besar sesuai panjangnya butiran. Butiran adalah lonjong jika lebarnya dapat ditempatkan dalam bukaan yang lebih kecil
- g. Setelah butiran dikelompokkan seperti yang di jelaskan tentukan perbandingan dalam masing – masing kelompok dengan menghitung jumlah butir atau beratnya tergantung kebutuhan
- h. Lakukan pengujian untuk masing – masing fraksi ukuran butiran agregat dan kelompokan dalam salah satu dari 2 kelompok agregat yaitu (1) kelompok pipih dan (2) kelompok tidak pipih dan lonjong

3. Perhitungan

Hitung persentase butiran tiap kelompok dalam 1% terde am 1% terdekat untuk ma kat untuk masing-masing sing-masing fraksi fraksi ukuran ayakan yang lebih besar dari 9,5 mm (3/8 ukuran ayakan yang lebih besar dari 9,5 mm (3/8 inci) atau 4,75 mm (No.4), seperti yang inci) atau 4,75 mm (No.4), seperti yang disyaratkan

Butiran Pipih

$$0\% \text{ Butiran Agregat Pipih} = \frac{\text{Berat Butiran Agregat Pipih}}{\text{Berat Total Butiran Agregat}} \times 100 \dots\dots\dots 2.13$$

Atau

$$0\% \text{ Butiran Agregat Pipih} = \frac{\text{Jumlah Butiran Agregat Pipih}}{\text{Jumlah Total Butiran Agregat}} \times 100 \dots\dots\dots 2.14$$

Butiran Lonjong

$$0\% \text{ Butiran Agregat Lonjong} = \frac{\text{Berat Butiran Agregat Lonjong}}{\text{Berat Total Butiran Agregat}} \times 100 \dots\dots\dots 2.15$$

Atau

$$0\% \text{ Butiran Agregat Lonjong} = \frac{\text{Berat Butiran Agregat Lonjong}}{\text{Berat Total Butiran Agregat}} \times 100 \dots\dots\dots 2.16$$

Butiran Pipih Dan Lonjong

$$0\% \text{ Butiran Agregat Pipih Dan Lonjong} = \frac{\text{Berat Butiran Agregat Pipih Dan Lonjong}}{\text{Berat Total Butiran Agregat}} \times 100 \quad 2.17$$

Atau

$$0\% \text{ Butiran Agregat Pipih Dan Lonjong} = \frac{\text{Jumlah Butiran Agregat Pipih Dan Lonjong}}{\text{Jumlah Total Butiran Agregat}} \times 100 \quad 2.18$$

Bila diperlukan nilai rata – rata dari beberapa fraksi ukuran butiran, anggap bahwa material pada ukuran ayakan tertentuyang beratnya lebih dari 10% terhadap berat contoh, mempunyai persentase butiran pipih, butiran lonjong atau butiran pipih dan lonjong sama dengan nilai pada ukuran saringan setingkat di atasnya atau setingkat di bawahnya. Jika nilai dari ukuran material setingkat di atas dan setingkat dibawahnya ada, dapat digunakan nilai rata – rata dari keduanya Rumus nilai butiran agregat pipih, butiran agregat lonjong, butiran agregat pipih dan butiran agregat lonjong, butiran agregat tidak pipih dan butiran agregat tidak lonjong, butiran agregat pipih dan lonjong serta butiran agregat tidak pipih dan lonjong

$$F = \frac{(P1 \times F1 + P2 \times F2 + \dots + Pn \times Fn)}{Pt}$$

$$E = \frac{(P1 \times e1 + P2 \times e2 + \dots + Pn \times en)}{Pt}$$

$$FE = \frac{(P1 \times fe1 + P2 \times fe2 + \dots + Pn \times fen)}{Pt}$$

$$NFNE = \frac{(P1 \times NfNe + P2 \times NfNE2 + \dots + Pn \times NfNen)}{Pt}$$

$$F \text{ dan } E = \frac{(P1 \times f \text{ dan } e1 + P2 \times f \text{ dan } e2 + \dots + Pn \times f \text{ dan } en)}{Pt}$$

$$NF \text{ dan } E = \frac{(P1 \times Nf \text{ dan } e1 + P2 \times Nf \text{ dan } e2 + \dots + Pn \times Nf \text{ dan } en)}{Pt}$$

Keterangan:

F : adalah nilai rata – rata butiran agregat pipih dinyatakan dalam persen (%)

E : adalah nilai rata – rata butiran agregat lonjong dinyatakan dalam persen (%)

FE : adalah nilai rata – rata butiran agregat pipih dan butiran agregat lonjong dinyatakan dalam persen (%)

NFNE : adalah nilai rata – rata butiran agregat tidak pipih dan butiran agregat tidak lonjong dinyatakan dalam persen (%)

F dan E : adalah nilai rata – rata agregat pipih dan lonjong dinyatakan dalam persen (%)

NF dan E : adalah nilai rata – rata butiran agregat tidak pipih dan lonjong dinyatakan dalam persen (%)

P1...pn : adalah persentase butiran agregat yang tertahan pada masing – masing ukuran ayakan

Pt : adalah total persentase butiran agregat yang tertahan pada ukuran ayakan yang lebih besar dari (9,5 mm)/3/8 Inchi atau (4,75 mm) No. 4

F1...fn: adalah persentase butiran agregat pipih pada masing – masing ukuran ayakan

e1... en : adalah persentase butiran agregat lonjong pada masing – masing ukuran ayakan

fe1... fen : adalah persentase butiran agregat pipih dan butiran agregat lonjong pada masing – masing ukuran ayakan

NfNe1. NfNen: adalah persentase butiran tidak pipih dan butiran agregat tidak lonjong pada masing – masing ukuran ayakan

F&e1... f&en : adalah persentase butiran agregat pipih dan lonjong pada masing – masing ukuran ayakan

Nf&e1..Nf&en : adalah persentase butiran agregat tidak pipih dan lonjong pada masing – masing ukuran ayakan

2.5.8. Pengujian Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan

Dalam perencanaan campuran beraspal panas seperti *Hot Rolled Sheet* – Base (HRS-Base), agregat merupakan komponen terbesar yang menyusun 90–95% berat total campuran. Pengujian berat jenis bulk agregat gabungan dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata berat jenis dari campuran agregat kasar, agregat halus, dan filler dalam proporsi tertentu yang akan digunakan dalam desain campuran. Nilai ini menjadi dasar dalam perhitungan kadar aspal optimum dengan metode *Marshall Mix Design*. Jika nilai berat jenis bulk terlalu rendah, campuran cenderung memiliki rongga yang terlalu besar, sehingga berpotensi menurunkan stabilitas dan meningkatkan permeabilitas air. Sebaliknya jika nilainya terlalu tinggi, campuran bisa menjadi terlalu rapat sehingga menurunkan fleksibilitas perkerasan.

Menurut (Nasional 2008b) (untuk agregat kasar) dan (untuk agregat halus), pengujian berat jenis dilakukan dengan cara merendam sampel agregat hingga kondisi jenuh kering permukaan (SSD) kemudian ditimbang dalam keadaan kering, SSD, dan terendam air. Dari hasil penimbangan ini diperoleh nilai berat jenis bulk, berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta persentase penyerapan air. Selanjutnya untuk mendapatkan berat jenis bulk gabungan (Gsb), digunakan persamaan berikut:

$$B_j \text{ bulk gabungan} = \frac{\text{Proporsi agregat}}{B_j \text{ bulk agregat}} \dots\dots\dots 2.19$$

2.5.9. Pengujian Berat Jenis Aspal Padat

Berat jenis aspal merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi mutu dan karakteristik fisik aspal yang digunakan dalam campuran perkerasan jalan. Nilai berat jenis diperlukan untuk menghitung void dalam campuran beraspal, menentukan kadar aspal optimum, serta memastikan kesesuaian aspal terhadap spesifikasi teknis yang berlaku. Menurut (Nasional 1991b) tentang Metode Pengujian Berat Jenis dan Berat Jenis Semu Aspal, berat jenis didefinisikan sebagai perbandingan antara massa aspal terhadap massa air suling dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Umumnya pengujian dilakukan pada temperatur standar 25 °C

1. Peralatan

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut

- a. Termometer
- b. Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu dengan ketelitian (25°C ± 0,1°C)
- c. Piknometer 30 ml
- d. Air suling sebanyak 1000 ml
- e. Bejana gelas, kapasitas 1000 ml

2. Bahan

Aspal yang diuji biasanya menggunakan aspal keras penetrasi 60/70 sesuai spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk campuran beraspal panas (HMA)

3. Cara Pengujian

Urutan cara pengujian ini adalah sebagai berikut

- a. Isilah bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang tidak terendam 40 mm; kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sehingga perendam sekurang-kurangnya 100 mm; aturlah suhu bak perendam pada suhu 25°C;
- b. Bersihkan, keringkan, dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg; (A)
- c. Angkatlah bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling kemudian tutuplah piknometer tanpa ditekan;
- d. Letakkan piknometer ke dalam bejana dan tekanlah penutup sehingga rapat; kembalikan bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam; diamkan bejana tersebut di dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit, kemudian angkatlah dan keringkan dengan lap; timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg; (B)
- e. Panaskan contoh bitumen keras atau ter sejumlah 100 gram, sampai menjadi cair dan aduklah untuk mencegah pemanasan setempat; pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit pada suhu 110°C di atas titik lembek aspal
- f. Tuangkan benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian
- g. Biarkan piknometer sampai dingin, selama tidak kurang dari 40 menit dan timbanglah dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg; (C)
- h. Isilah piknometer yang berisi benda uji dengan air suling dan tutuplah tanpa ditekan, diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar
- i. Angkatlah bejana dari bak perendam dan letakkan piknometer di dalamnya dan kemudian tekanlah penutup hingga rapat; masukkan dan diamkan bejana ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit; angkat, keringkan, dan timbanglah piknometer. (D)

4. Perhitungan

Hitunglah berat jenis dengan rumus sebagai berikut

$$\lambda = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)} \dots\dots\dots 2.20$$

Keterangan

Λ : Berat jenis aspal

A : Berat piknometer (dengan penutup) (gram)

- B : Berat piknometer berisi air (gram)
- C : Berat piknometer berisi aspa (gram)
- D : Berat piknometer berisi asal dan air (gram)

2.6. Material Lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion)

Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) merupakan salah satu sumber daya alam lokal yang banyak ditemukan di wilayah Kabupaten Yalimo Provinsi Papua Pegunungan. Material ini berasal dari batuan vulkanik dan beku yang terdistribusi di daerah pegunungan serta aliran sungai. Secara umum material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) terdiri dari butiran agregat kasar hingga halus dengan tekstur relatif keras, bersudut hingga agak bulat dan berwarna abu-abu kehitaman. Ketersediaan material ini cukup melimpah di beberapa distrik antara lain Distrik Abenaho, Distrik Apalapsili, Distrik Benawa, Distrik Elelim, dan Distrik Welarek. Masyarakat setempat telah lama memanfaatkan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) untuk kebutuhan konstruksi sederhana, seperti pondasi rumah, pengerasan jalan lingkungan, dan bangunan non-struktural. Potensi ini menunjukkan bahwa *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dapat menjadi salah satu material alternatif untuk mendukung pembangunan infrastruktur jalan di daerah yang sulit dijangkau pasokan agregat konvensional. Namun berdasarkan keputusan bersama masyarakat, tokoh adat, tokoh agama, dan pemerintah daerah, pengelolaan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) secara resmi hanya diperbolehkan di Distrik Elelim. Keputusan ini diambil untuk menjaga keseimbangan pemanfaatan sumber daya, melestarikan kearifan lokal, serta mencegah konflik kepentingan antarwilayah. Pengaturan tersebut juga telah tertuang dalam dokumen RPJMD Tahun 2024 – 2029 Kabupaten Waropen yang menekankan pentingnya pengelolaan sumber daya lokal berbasis masyarakat dan budaya setempat. Kebijakan tersebut memberi gambaran bahwa pemanfaatan material lokal di Papua termasuk *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) tidak hanya bergantung pada aspek teknis semata tetapi juga sangat dipengaruhi oleh aspek sosial, budaya, dan regulasi daerah.

Kelebihan Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion)

Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) memiliki sejumlah keunggulan yang membuatnya berpotensi besar sebagai alternatif agregat dalam pekerjaan konstruksi jalan di Kabupaten Yalimo maupun wilayah sekitarnya antara lain:

- a. Material ini memiliki ketersediaan lokal yang melimpah
Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) banyak dijumpai di beberapa distrik seperti Abenaho, Apalapsili, Benawa, Elelim, dan Welarek, sehingga masyarakat maupun pelaksana pembangunan dapat memperolehnya dengan mudah tanpa harus mendatangkan material dari luar daerah. Hal ini menjadi keuntungan strategis mengingat aksesibilitas transportasi di Papua seringkali terkendala kondisi geografis
- b. Pemanfaatan material lokal ini mampu memberikan efisiensi biaya transportasi
Selama ini pembangunan infrastruktur di Papua sering menghadapi permasalahan tingginya biaya logistik akibat pengiriman material dari luar daerah. Dengan memanfaatkan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) yang tersedia di lokasi proyek, biaya pengadaan material dapat ditekan secara signifikan sehingga anggaran pembangunan lebih efektif dan efisien
- c. Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki variasi ukuran butir yang cukup lengkap
mulai dari abu batu, pasir, hingga kerikil. Variasi ini memungkinkan material digunakan secara langsung sebagai sirtu alami (pasir-batu) tanpa melalui proses pemecahan lanjutan. Dengan demikian material ini berpotensi diaplikasikan pada berbagai lapisan perkerasan jalan baik sebagai lapisan pondasi maupun lapisan permukaan setelah melalui proses pencampuran yang sesuai dengan standar teknis
- d. Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) berasal dari batuan vulkanik jenis andesit dan basalt yang dikenal relatif keras. Karakteristik kekerasan ini ditambah dengan tekstur butiran yang kasar dan sebagian bersudut menjadikannya memiliki daya lekat yang baik terhadap aspal. Sifat ini sangat penting dalam konstruksi jalan, karena dapat meningkatkan stabilitas campuran beraspal serta memperpanjang umur layanan perkerasan.
- e. Penggunaan Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) turut mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan
Dengan memanfaatkan sumber daya lokal kebutuhan transportasi jarak jauh dapat dikurangi sehingga emisi karbon dari aktivitas logistik juga menurun. Selain itu pemanfaatan material lokal ini sejalan dengan arah kebijakan pembangunan daerah sebagaimana tertuang dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah

(RPJMD), yang menekankan pentingnya optimalisasi potensi sumber daya lokal untuk meningkatkan kemandirian pembangunan

2. Ukuran Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)

Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) yang banyak dijumpai di Kabupaten Yalimo memiliki variasi ukuran butiran yang cukup beragam mulai dari fraksi halus hingga kasar. Berdasarkan hasil observasi lapangan material ini dapat dijumpai dalam bentuk abu batu, pasir, dan kerikil.

- a. Abu batu *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) umumnya memiliki ukuran butiran sangat halus berkisar antara 0 – 4,75 mm sehingga dapat berfungsi sebagai pengisi (filler) dalam campuran beraspal maupun beton. Fraksi ini penting karena mampu meningkatkan kepadatan campuran serta memperbaiki ikatan antarbutir agregat
- b. Pasir *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki ukuran butiran sedang yaitu sekitar 0,075 – 4,75 mm, sesuai dengan kategori agregat halus dalam standar SNI. Material ini dapat digunakan untuk campuran mortar, beton, maupun sebagai bahan agregat halus dalam konstruksi perkerasan jalan
- c. Kerikil Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) hadir dalam ukuran yang lebih besar umumnya berkisar antara 4,75 mm – 37,5 mm. Fraksi kerikil ini dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar untuk lapisan pondasi jalan, lapisan agregat, maupun campuran aspal panas (*hot mix asphalt*)



Gambar 2.4. Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Dari Apalapsili, Distrik Elelim, Kab. Yalimo (Sumber: dokumentasi pribadi)



Gambar 2.5. Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Dari Sungai Habie Apalapsili, Distrik Elelim, Kab. Yalimo (Sumber: dokumentasi pribadi)

2.7. Geologi Dan Jenis Batuan di Kabupaten Yalimo

Kondisi geologi dari Kabupaten Yalimo tersusun dari beberapa jenis batuan seperti Batuan Aluvial, Batuan Andesit serta batuan lain yang terdapat diseluruh wilayah kabupaten. Berikut merupakan uraian dari jenis struktur geologi yang terdapat di Kabupaten Yalimo.

- Aluvial: Struktur Endapan Aluvial dominan berada di Distrik Benawa dengan luas 35.059 Ha, merupakan jenis struktur yang terbentuk dari hasil endapan.
- Andesit: Jenis batuan vulkanik ekstrusif berkomposisi menengah, dengan tekstur afanitik hingga porfiritik, dominan berada di Distrik Benawa dengan luas sebesar 3.613 Ha.
- Batuan Malihan Derewo: Batuan metamorf yang dominan tersebar di Distrik Abenaho dengan luas sebesar 33.683 Ha.
- Batuan Terobosan Timepa: Batuan Terobosan tersusun atas andesit, dasit, basal, dan diorit. Struktur ini dominan tersebar di Distrik Abenaho dengan luas sebesar 721 Ha.
- Batugamping Waripi: Batu gamping yang termasuk kedalam Formasi Waripi, dominan tersebar di Distrik Abenaho dengan luas sebesar 21.163 Ha.
- Batugamping Yawee: terdiri dari diorite dan granodiorit menerobos batugamping tersier memungkinkan terjadi endapan skarn yang terdiri dari mineral bijih. Dominan tersebar di Distrik Welarek dengan luas sebesar 105 Ha.
- Batupasir Ekmai: Tergolong kedalam Formasi Ekmai yang terdiri atas batupasir kuarsa, batugamping dan batulempung. Dominan berada di Distrik Welarek dengan luas sebesar 12.994 Ha.

- Endapan Kipas Aluvium: terdiri dari lanau, pasir, keriki. Dominan berada di Distrik Elelim dengan luas sebesar 697 Ha.
- Grup Kembelangan: Terdiri atas lapis batudebu dan batulumpur karboniferus pada lapisan bawah batupasir kuarsa glaukonitik butiran-halus serta sedikit shale pada lapisan atas. Dominan berada di Distrik Welarek dengan luas sebesar 105.794 Ha.
- Koluvium dan Hancuran Tanah Longsor: Dominan berada di Distrik Benawa dengan luas sebesar 1.918 Ha.
- Konglomerat Teras: Dominan berada di Distrik Apalapsili dengan luas sebesar 1.814 Ha.
- Ultramafik: terdiri dari Hasburgrit, Sepentinit, dan Dunit. Mineral utama olivine, terubah menjadi sepiolit dan antigorit, serta piroksen. Dominan berada di Distrik Benawa dengan luas sebesar 24.324 Ha.

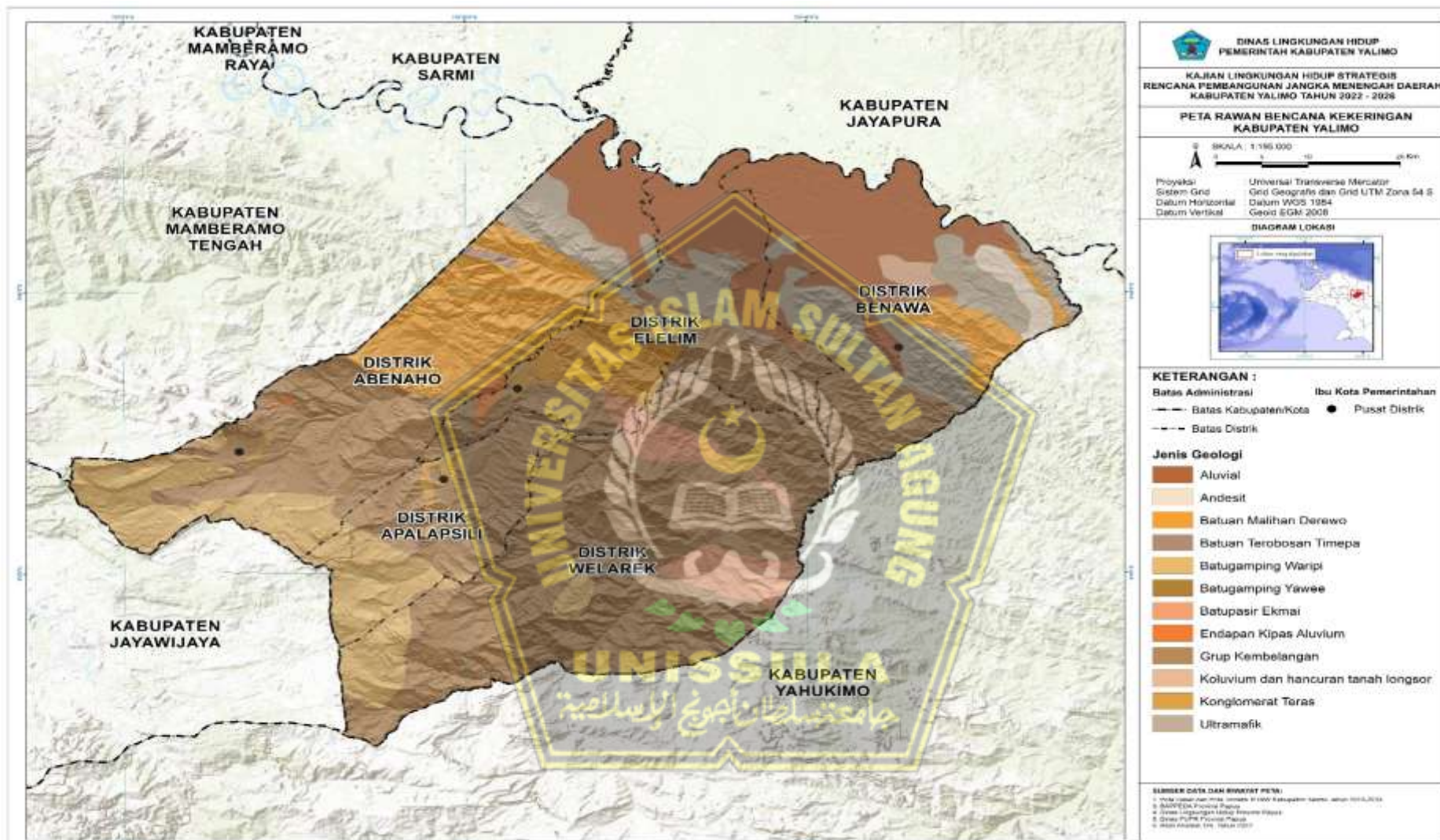
Tabel 2.7. Luas Jenis Geologi Menurut Distrik Di Kabupaten Yalimo

Jenis Geologi	Distrik Abenaho	Distrik Apalapsili	Distrik Benawa	Distrik Elelim	Distrik Welarek	Luas Total (Ha)
Aluvial	12.098	-	35.059	16.767	-	63.924
Andesit	-	-	3.613	-	-	3.613
Batuan Malihan Derewo	33.683	-	8.539	14.340	232	56.794
Batuan Terobosan Timepa	721	-	-	-	-	721
Batugamping Waripi	21.163	12.668	-	-	9.129	42.960
Batugamping Yawee	-	-	-	-	105	105
Batupasir Ekmai	-	-	-	1.464	12.994	14.458
Endapan Kipas Aluvium	727	-	-	697	-	1.424
Grup Kembelangan	35.120	23.858	13.772	24.358	105.794	202.902
Koluvium dan hancuran tanah longsor	-	-	1.918	-	-	1.918

Jenis Geologi	Distrik Abenaho	Distrik Apalapsili	Distrik Benawa	Distrik Elelim	Distrik Welarek	Luas Total (Ha)
Konglomerat Teras	457	1.840	-	1.085	-	3.383
Ultramafik	9.252	-	24.324	7.355	-	40.930
Luas Total (Ha)	113.221	38.366	87.225	66.066	128.255	433.133

Sumber: (P. K. Yalimo 2013)





Gambar 2.6. Peta Geologi Kabupaten Yalimo
Sumber: Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Yalimo Tahun 2013–2033

2.8. Potensi Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dalam Campuran HRS-Base

Material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang ditemukan di Kabupaten Yalimo memiliki prospek yang sangat menjanjikan sebagai bahan utama dalam campuran *Hot Rolled Sheet Base* (HRS-Base). Secara kasat mata, material ini memperlihatkan ciri-ciri agregat yang baik: keras, padat, serta memiliki tekstur permukaan yang kasar. Karakteristik tersebut menunjukkan indikasi bahwa *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) mampu berperan sebagai agregat dengan daya dukung tinggi dan memiliki ikatan yang kuat dengan aspal. Potensi inilah yang menjadikannya salah satu sumber daya lokal yang patut dieksplorasi secara lebih serius

Dalam konteks teknis, agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) diperkirakan memenuhi sejumlah persyaratan dasar sebagai agregat campuran beraspal. Kekerasannya membuat material ini relatif tahan terhadap keausan sementara porositasnya yang rendah memberi kemungkinan nilai penyerapan air yang berada dalam batas wajar. Kedua sifat ini menjadi indikator awal bahwa *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dapat berkontribusi pada stabilitas campuran aspal, ketahanan terhadap lalu lintas berat, serta daya tahan terhadap perubahan iklim dan kondisi lingkungan di wilayah pegunungan Papua. Namun semua dugaan ini tidak bisa hanya mengandalkan pengamatan visual. Uji laboratorium menjadi langkah mutlak untuk memastikan sifat fisik dan mekanisnya sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Dari sisi ekonomi pemanfaatan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) membawa keuntungan signifikan. Selama ini proyek pembangunan jalan di Papua menghadapi kendala biaya tinggi akibat ketergantungan pada material dari luar daerah. Transportasi agregat dari provinsi lain memerlukan biaya yang sangat besar dan waktu yang lama terutama mengingat keterbatasan akses jalan dan kondisi geografis Papua. Dengan memanfaatkan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) sebagai agregat lokal beban biaya transportasi dapat ditekan secara signifikan tidak hanya itu penggunaan material lokal juga membuka peluang kerja bagi masyarakat sekitar *quarry* sehingga mampu memberikan dampak positif terhadap perekonomian lokal. Dengan demikian material ini tidak hanya berperan dalam mendukung pembangunan infrastruktur tetapi juga menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi daerah. Jika dilihat dari aspek lingkungan

penggunaan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) selaras dengan prinsip pembangunan berkelanjutan. Ketergantungan terhadap pasokan agregat dari luar Papua biasanya menimbulkan jejak karbon tinggi akibat aktivitas transportasi jarak jauh. Pemanfaatan material lokal dapat menekan emisi gas buang dari kendaraan angkut, mengurangi polusi udara, serta menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan kata lain *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dapat menjadi bagian dari solusi ramah lingkungan dalam pembangunan jalan di wilayah pegunungan yang sensitif secara ekologis. Meski demikian potensi besar ini tidak lepas dari sejumlah tantangan. Lokasi quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang berada di wilayah pegunungan terpencil dengan aksesibilitas terbatas menjadi salah satu kendala utama. Selain itu teknologi pengolahan agregat yang masih terbatas di daerah tersebut berpotensi menimbulkan variasi mutu material yang tidak seragam. Dengan demikian dapat ditegaskan bahwa *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) memiliki potensi tinggi sebagai agregat lokal dalam campuran HRS-Base. Jika pengujian laboratorium membuktikan kesesuaiannya dengan standar nasional maka material ini bukan hanya menjadi solusi teknis untuk pembangunan jalan di Papua tetapi juga menghadirkan manfaat ekonomi dan lingkungan yang besar. Penggunaan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) pada akhirnya dapat menjadi simbol kemandirian daerah dalam memanfaatkan sumber daya lokal untuk mendukung pembangunan infrastruktur yang tangguh, efisien, dan berkelanjutan.

2.9. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu yang digunakan sebagai rujukan dalam penelitian ini sebagai berikut

Tabel 2.8. Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Ronald Arthur Betteng, Bahtiar, Duha Awaluddin K., Mudjiati,	Analisis Pengaruh Penambahan Aspal Terhadap Umur Rencana Perkerasan	Untuk menentukan umur rencana perkerasan yang menggunakan material Aluvial Gravel Sand	Material <i>Aluvial Gravel Sand</i> (Kinang Jinkion) diuji di Laboratorium BPJN Jayapura untuk mengetahui	Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) berpotensi sebagai pengganti agregat

	dan Dewi Ana Rusim, 2024	Jalan Dengan Menggunakan Agregat Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)	(Kinang Jingkion) serta menganalisis pengaruh penambahan aspal sebagai pengikat pada lapisan perkerasan dan terhadap umur rencana perkerasan tersebut	berat jenis, penyerapan air, dan parameter Marshall pada campuran HRS-Base. Pengambilan material dilakukan di Kota Elelim, Kabupaten Yalimo, dan hasilnya menunjukkan potensi baik untuk konstruksi jalan.	konvensional dengan hasil Marshall Test yang memenuhi standar, stabilitas 801,6 kg, flow 3,22 mm, MQ 252,7 kg/mm, dan KAO 4,44%. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar maupun halus juga sesuai standar, menunjukkan performa campuran beraspal yang baik.
2	Herman Ferdinand Putera Safanpo, 2024	Analysis Of the Properties of Chemical Content and The Use Of Local Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) as Coarse Aggregate Against The Characteristics of WC Last (AC) Mixture in Yalimo Regency	Untuk menganalisis sifat bahan lokal Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) sebagai bahan agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran jalan raya di Kabupaten Yalimo	Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) dari Distrik Elelim dianalisis dengan XRF untuk kandungan kimia dan XRD untuk mineral. Uji fisik, abrasi, Marshall, dan penetapan KAO dengan aspal pen 60/70 dilakukan untuk menilai kelayakan material	Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) memiliki kandungan kimia (SiO_2 50,493%) dan nilai abrasi 32,69% yang memenuhi standar untuk agregat jalan. Kadar aspal optimum 6,125% juga menunjukkan kelayakan material ini untuk campuran aspal jalan

3	Sartika Nisumanti, Yuliantini Eka Putri, Ferry Desromi, Khodijah Al Qubro, Saripudin, dan Muhammad Fikri, 2025	Inovasi Material Berkelanjutan: Optimasi Penggunaan Abu Sabut Kelapa sebagai Alternatif Filler pada Aspal Beton	Untuk mengetahui mutu aspal beton menggunakan filler abu sabut kelapa dilihat dari nilai Marshall dan untuk mengetahui kadar aspal optimum normal	Penelitian ini merupakan eksperimen dengan uji Marshall untuk mengevaluasi sifat mekanis campuran aspal beton dengan filler abu sabut kelapa. Variasi kadar ASK yang digunakan adalah 4%, 4,5%, dan 5% pada kadar aspal 6%.	Penambahan Abu Sabut Kelapa (ASK) pada aspal 60/70 tidak memenuhi spesifikasi karena VIM dan VFA di luar standar, meski pada kadar ASK 4–5% nilainya mendekati. Aspal normal dengan KAO 6% menunjukkan hasil terbaik dengan VIM 4,145%, VFA 76,304%, VMA 17,439%, stabilitas 1446,3 kg, dan flow 3,19 mm.
4	Bahtiar, 2023	Karakteristik Serbuk Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) Yalimo Papua Sebagai Bahan Pengisi Campuran HRS - WC	Untuk menganalisis karakteristik serbuk Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) yalimo papua dan mengetahui apakah bahan tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengisi (filler) pada campuran hrs-wc dalam konstruksi jalan raya	Pengujian Dilakukan Dengan Metode Uji Marshall Untuk Mendapatkan Nilai Stabilitas Dan Kelekatan Bahan	Serbuk Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion) dari Yalimo memenuhi standar sebagai filler pada campuran HRS-WC dengan stabilitas Marshall 1194,4 kg dan OAC 6,85%. Parameter VIM 2,68% dan VFB 80,16% juga menunjukkan

					hasil baik dan sesuai standar
5	Johanis Hs Ervans Idie, 2023	Analisa Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)	Untuk menganalisis tebal lapis perkerasan menggunakan material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) dan menghitung lapis pemadatan untuk CBR dengan menggunakan material tersebut	Penelitian ini menggunakan data primer (sampel lapangan, uji CBR, dan data geografi) serta data sekunder dari studi pustaka untuk analisis komponen tebal perkerasan dan lapis pemadatan. Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui CBR dan karakteristik material, lalu dianalisis bersama biaya konstruksi	Tebal perkerasan dengan material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) adalah 9 cm untuk lapis permukaan dan 6 cm untuk lapis pondasi kelas B. Nilai CBR rata-rata lapangan 80,04% dan laboratorium 18% menunjukkan material ini layak digunakan
6	Eben H. Adam dan Ronald Sukwadi, 2025	Pemanfaatan Sirtu Batu Kapur Material Lokal Sebagai Material Campuran Lapis Pondasi Agregat pada Pembangunan Dan Preservasi Jalan dan Jembatan	Untuk menganalisis potensi dan kelayakan pemanfaatan sirtu batu kapur sebagai bahan campuran pada lapis pondasi agregat dalam pembangunan dan preservasi jalan dan jembatan, guna menemukan solusi yang lebih ekonomis,	Dilakukan pengujian fisik dan mekanik seperti kekuatan tekan, keausan, dan kepadatan lapangan pada sirtu batu kapur. Uji laboratorium bertujuan mengetahui sifat dan karakteristik agregat sebagai bahan lapis pondasi	Sirtu batu kapur memenuhi persyaratan teknis dengan CBR tinggi untuk lapis pondasi dan mampu menekan biaya material hingga 15%. Material ini juga ramah lingkungan, melimpah, dan membantu mengurangi limbah tambang

			efisien, dan berkelanjutan		
7	Leonard Samuel Ampung, Muhammad Arsyad dan Yasruddin, 2023	Pengoptimalan Penggunaan Material Agregat Lokal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan di Kabupaten Lamandau	Untuk mendapatkan manfaat agregat lokal dengan melakukan pengujian terhadap bahan material dasar/agregat lokal, mendapatkan kombinasi bahan agregat lokal dengan material dari luar yang memenuhi standar, serta menentukan biaya harga satuan bahan	Penelitian dilakukan melalui survei lokasi untuk mengidentifikasi potensi agregat lokal dan mempelajari sifat bahan yang pernah digunakan. Uji laboratorium mengikuti standar SNI, termasuk uji abrasi, batas plastis, batas cair, dan gumpalan lempung	Kombinasi agregat Merak 100% dan 80% lokal-20% Merak memenuhi syarat untuk berbagai kelas jalan. Proporsi agregat lokal lebih dari 40% tidak memenuhi standar untuk beberapa kelas dan bahu jalan, sehingga perlu seleksi bahan yang tepat
8	Kusumadi, Wirdatun N. Putri dan Nurma V. Maruhawa, 2023	Pemanfaatan Material Lokal Nias Barat Pada Campuran Aspal Polimer Jap-57 Dengan Aspal Pen 60/70	Untuk memanfaatkan material lokal Nias Barat dalam campuran aspal polimer JAP-57 dengan aspal PEN 60/70, serta menentukan kadar aspal optimum dan menguji durabilitas campuran tersebut agar memenuhi	Penelitian dilakukan dengan menentukan variasi kadar aspal $\pm 0,5\%$ dari perkiraan awal (Pb) dan membuat 3 benda uji untuk tiap variasi. Total 30 benda uji dibuat untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran konvensional dan polimer	Agregat dari Quarry Noyo memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, kecuali nilai abrasi pada campuran aspal polimer JAP-57. Campuran JAP-57 dengan KAO 6,13% menunjukkan durabilitas, stabilitas, dan IKS yang baik terhadap air dan suhu, memenuhi

			spesifikasi yang berlaku	JAP-57 dengan agregat Quarry Noyo	standar minimum
9	Taurina Jemmy Irwanto, Dedy Asmaroni, 2019	Pemanfaatan Material Lokal Dan Produk Samping Industri Sebagai Agregat Batu Pecah Dan Filler terhadap Kinerja Marshall pada Campuran Panas Aspal Beton Lapis Permukaan Aus (ACWC)	Penelitian ini bertujuan memanfaatkan material lokal Madura seperti batu pecah, abu sekam padi, dan serbuk batu kapur sebagai pengganti material impor pada aspal hotmix. Selain itu, penelitian mengevaluasi pengaruh filler tersebut terhadap sifat fisik, karakteristik Marshall, biaya produksi, nilai ekonomi, dan keberlanjutan lingkungan	Penelitian laboratorium merancang campuran aspal panas dengan material lokal Madura, menggunakan abu sekam padi dan serbuk batu kapur sebagai filler. Uji Marshall dan uji fisik dilakukan pada sampel dengan variasi filler 2–10% untuk mengevaluasi parameter densitas, flow, VMA, VIM, VFB, dan stabilitas sesuai standar	Material lokal Madura seperti batu pecah dan filler batu kapur atau abu sekam padi memengaruhi sifat fisik dan karakteristik Marshall campuran aspal. Campuran dengan filler batu kapur 8% dan aspal 6,5% memenuhi syarat dengan stabilitas 1.852,863 kg dan parameter Marshall lainnya sesuai standar.

2.10. Kerangka Berpikir

Penelitian ini didasarkan pada permasalahan ketersediaan material agregat standar untuk pekerjaan perkerasan jalan di Kabupaten Yalimo yang terbatas sehingga diperlukan alternatif pemanfaatan material lokal. *Material Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) diduga memiliki potensi sebagai agregat untuk campuran HRS–Base namun kelayakannya masih perlu dibuktikan melalui serangkaian pengujian.

1. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan utama penelitian ini adalah

- a. Bagaimana karakteristik gradasi material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang tersedia di Kabupaten Yalimo jika dibandingkan dengan spesifikasi gradasi agregat untuk campuran HRS–Base
- b. Apakah material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) memenuhi persyaratan gradasi dan sifat fisik untuk digunakan sebagai agregat pada lapisan penutup (HRS–Base)
- c. Apa saja faktor-faktor yang menjadi keunggulan dan keterbatasan penggunaan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) sebagai alternatif agregat lokal pada pekerjaan perkerasan jalan di kabupaten yalimo

2. Tujuan Penelitian

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan

- a. Mengetahui karakteristik gradasi material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) .
- b. Menguji kesesuaian sifat fisik terhadap standar HRS–Base
- c. Mengidentifikasi keunggulan dan keterbatasan penggunaan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) sebagai agregat HRSBase

3. Pengumpulan data

a. Data Primer

- Observasi, melakukan pengambilan langsung di lapangan, sampel material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) diambil langsung di distrik Elelim, kampung quarry Apalapsili dan Kampung quarry Habie
- Wawancara kepada Dinas PUPR Kab. Yalimo, kepala adat/suku serta tokoh – tokoh masyarakat

b. Data Sekunder

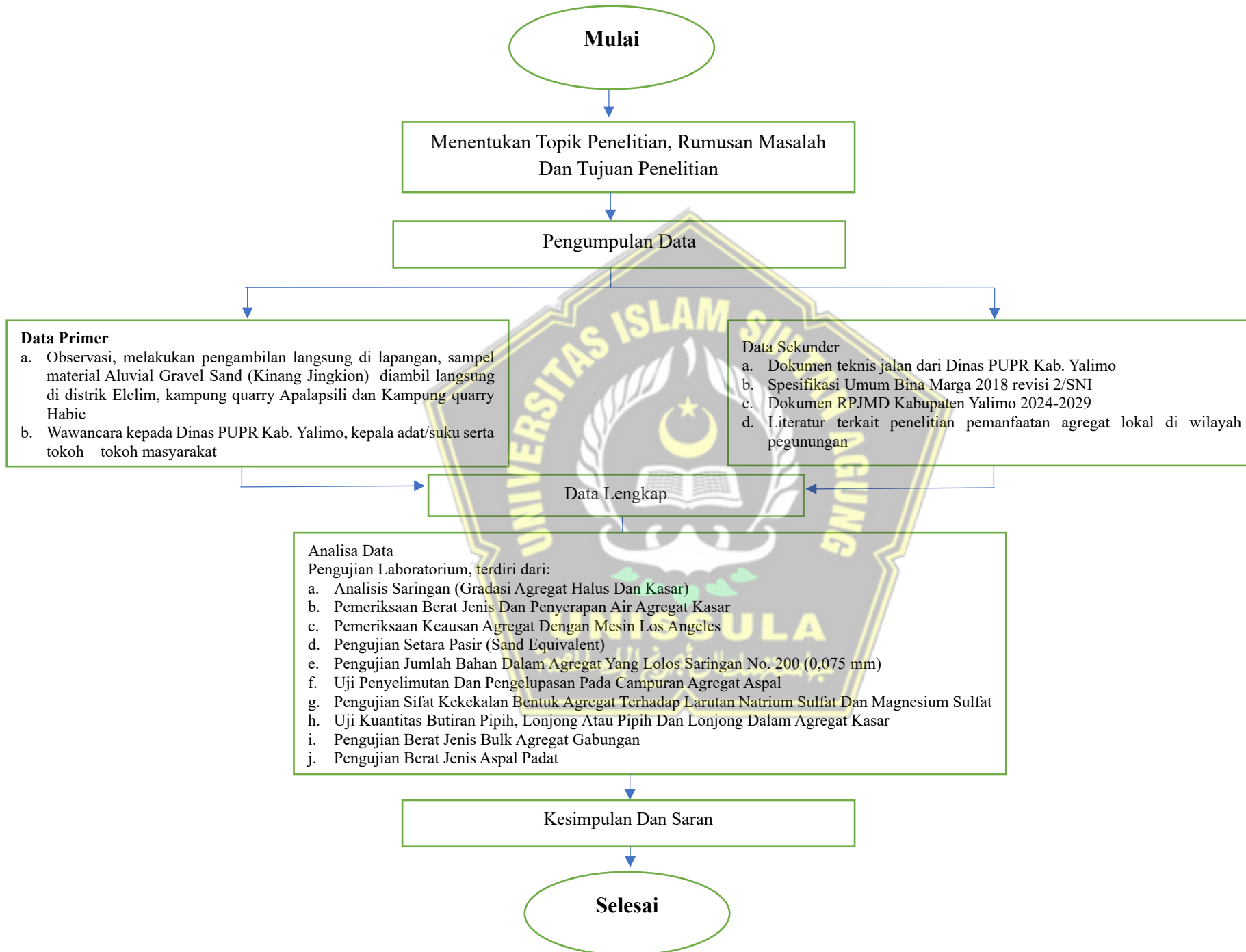
- Dokumen teknis jalan dari Dinas PUPR Kab. Yalimo
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2/SNI
- Dokumen RPJMD Kabupaten Yalimo 2024-2029
- Literatur terkait penelitian pemanfaatan agregat lokal di wilayah pegunungan

4. Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara mengolah hasil pengujian laboratorium terhadap material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) yang diambil dari Distrik Elelim Kabupaten Yalimo (sampel 1 dari Kampung Apalapsili dan sampel 2 dari Kampung Sungai Habie). Pengujian terdiri dari

- a. Analisis Saringan (Gradasi Agregat Halus Dan Kasar)
- b. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- c. Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles
- d. Pengujian Setara Pasir (Sand Equivalent)
- e. Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)
- f. Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Aspal
- g. Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat
- h. Uji Kuantitas Butiran Pipih, Lonjong Atau Pipih Dan Lonjong Dalam Agregat Kasar
- i. Pengujian Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan
- j. Pengujian Berat Jenis Aspal Padat





Setelah pengambilan sampel dari lapangan, material di uji di Laboratorium UPTD Balai Pengujian Dinas Pekerjaan Umum Penataan Ruang, Perumahan Dan Kawasan Permukiman, yang berlokasi di Jalan Silva Griya No 1 Kotaraja, Provinsi Jayapura. Laboratorium ini dipilih karena memiliki fasilitas peralatan uji material yang cukup lengkap dan memenuhi standar nasional maupun internasional (ASTM) serta di dukung oleh tenaga teknis yang berpengalaman dalam pengujian agregat untuk pekerjaan jalan.

3.2. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium. Penelitian eksperimental dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gradasi material Lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) melalui serangkaian pengujian Laboratorium yang mengikuti prosedur standar. Eksperimental dilakukan terhadap sampel material yang di ambil dari lokasi penelitian kemudian di uji di Laboratorium untuk mendapatkan data empiris mengenai distribusi ukuran butiran (gradasi) dan dibandingkan persyaratan spesifikasi teknis untuk lapisan penutup (HRS-Base) pada perkerasan jalan

3.3. Jenis Dan Sumber Data

Menurut (Adriyanto 2020), Data adalah sekumpulan informasi atau keterangan dari suatu hal yang diperoleh dengan proses pengamatan dan pencarian dari beberapa sumber terkait. Jenis-jenis data dikelompokan berdasarkan parameter seperti sifat data, sumber data hingga waktu pengambilan data. jenis data dalam penelitian ini di bagi dua jenis data utama yang bisa digunakan yaitu

1. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari sumber informasi pada obyek penelitian dan menjadi sumber utama dalam penelitian ini. Data primer berfungsi untuk memperoleh informasi yang akurat dan aktual mengenai karakteristik material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) sehingga dapat digunakan untuk menjawab rumusan masalah penelitian khususnya terkait gradasi dan sifat fisik material sebagai agregat HRS-Base. Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi lapangan dan pengambilan sampel material secara langsung. Observasi lapangan bertujuan untuk memahami kondisi nyata di lokasi

quarry termasuk topografi, distribusi material, dan kondisi aksesibilitas ke lokasi penambangan.

Sampel material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) diambil dari dua lokasi utama yang dipilih secara representatif,

- a. Kampung Quarry Apalapsili, Distrik Elelim, dari lokasi ini diambil sebanyak 100 kg material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion). Sampel diambil secara acak dengan metode grab sampling sehingga mencakup berbagai ukuran butir dan kondisi material yang tersedia di quarry
 - b. Kampung Quarry Habie, Distrik Elelim, Diambil sebanyak 100 kg material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), menggunakan prosedur pengambilan sampel yang sama
2. Data sekunder adalah yaitu sumber data yang diperoleh dengan cara membaca, mempelajari dan memahami melalui media lain yang bersumber dari literatur, buku-buku, serta dokumen (Adriyanto 2020). Data sekunder dalam penelitian ini berupa Dokumen teknis jalan dari Dinas PUPR Kab. Yalimo, Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2/SNI, Dokumen RPJMD Kabupaten Yalimo 2024-2029 serta Literatur terkait penelitian pemanfaatan agregat lokal di wilayah pegunungan

3.4. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang akurat dan valid mengenai karakteristik material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) sebagai agregat HRS-Base. Data dikumpulkan melalui gabungan metode kuantitatif dan kualitatif yang mencakup observasi lapangan dan wawancara

1. Observasi lapangan dilakukan untuk mendapatkan sampel material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) yang representatif serta memahami kondisi nyata di lokasi quarry. Lokasi pengambilan sampel dipilih berdasarkan potensi produksi material, distribusi ukuran, dan aksesibilitas ke quarry, yaitu di Kampung Quarry Apalapsili dan Kampung Quarry Habie. keduanya berada di Distrik Elelim, Kabupaten Yalimo. Dari masing-masing lokasi diambil sebanyak 100 kg material sehingga total sampel yang diperoleh mencapai 200 kg
2. Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi kualitatif yang tidak dapat diperoleh melalui pengamatan langsung. Wawancara dilakukan dengan pihak Dinas

Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kabupaten Yalimo, kepala adat atau tokoh suku, serta tokoh masyarakat setempat. Dari Dinas PUPR, wawancara bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai kebutuhan material lokal untuk pembangunan jalan, kondisi jalan existing, serta spesifikasi teknis campuran HRS-Base yang berlaku. Sementara itu wawancara dengan kepala adat dan tokoh masyarakat memberikan informasi mengenai tradisi penambangan, distribusi material, aksesibilitas lokasi quarry, dan kendala sosial atau budaya yang mungkin memengaruhi pengambilan serta pemanfaatan material

3.5. Metode Analisa Data

Analisa data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengolah hasil pengujian laboratorium terhadap sampel material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang diperoleh dari lapangan. Tujuannya adalah untuk menilai apakah material tersebut memenuhi persyaratan teknis sebagai agregat pada campuran *Hot Rolled Sheet Base* (HRS-Base) sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Proses analisa dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu

1. Pertama, hasil analisis saringan (gradasi agregat halus dan kasar) diolah untuk mendapatkan distribusi ukuran butiran. Data persentase lolos saringan diplot dalam bentuk grafik gradasi, kemudian dibandingkan dengan batas spesifikasi gradasi HRS-Base. Dari perbandingan ini dapat ditentukan apakah gradasi material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) masuk dalam zona spesifikasi atau perlu dilakukan perbaikan pencampuran
2. Kedua, hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dianalisis untuk mengetahui karakteristik porositas agregat. Nilai berat jenis bulk, apparent, dan SSD dihitung, lalu dibandingkan dengan standar yang berlaku. Persentase penyerapan air juga dianalisis untuk menilai tingkat porositas dan kemampuan agregat menyerap aspal
3. Ketiga, pada pengujian keausan dengan mesin Los Angeles, nilai keausan dihitung dalam bentuk persentase kehilangan berat. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan batas maksimum keausan yang diperbolehkan dalam spesifikasi. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan material terhadap keausan akibat beban lalu lintas

4. Keempat, hasil pengujian setara pasir (*sand equivalent*) dianalisis untuk menentukan kandungan bahan plastis atau lempung dalam agregat halus. Nilai yang diperoleh dibandingkan dengan batas minimum yang dipersyaratkan. Semakin tinggi nilai setara pasir semakin baik kualitas agregat halus yang digunakan
5. Kelima, pada pengujian kadar butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm), hasil ditampilkan dalam bentuk persentase terhadap berat total sampel. Persentase ini dibandingkan dengan nilai maksimum yang diperbolehkan oleh standar. Hal ini penting karena kadar butiran sangat halus yang berlebihan dapat menurunkan stabilitas campuran aspal
6. Keenam, hasil uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal dianalisis dengan cara menghitung persentase butiran agregat yang tetap terselimuti aspal setelah pengujian. Persentase tersebut dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi untuk menilai kekuatan ikatan antara agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dengan aspal
7. Ketujuh, pada uji kekekalan bentuk dengan larutan Natrium Sulfat dan Magnesium Sulfat, persentase kehilangan berat agregat setelah melalui siklus rendaman dihitung. Nilai ini dibandingkan dengan batas maksimum yang diperbolehkan untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap pengaruh perubahan volume akibat lingkungan
8. Kedelapan, hasil uji kuantitas butiran pipih dan lonjong dianalisis untuk mengetahui persentase butiran yang berbentuk tidak normal. Persentase ini dibandingkan dengan batas maksimum yang ditetapkan dalam spesifikasi. Semakin rendah jumlah butiran pipih dan lonjong, semakin baik kualitas agregat untuk perkerasan jalan
9. Kesembilan, hasil pengujian berat jenis bulk agregat gabungan digunakan untuk menghitung parameter volumetrik campuran beraspal, termasuk VIM (Void in Mix) dan VMA (*Void in Mineral Aggregate*). Nilai berat jenis gabungan dibandingkan dengan data perencanaan campuran agar diperoleh perhitungan yang lebih akurat
10. Kesepuluh, hasil pengujian berat jenis aspal padat dianalisis untuk menentukan parameter volumetrik campuran aspal. Nilai berat jenis aspal diperlukan untuk menghitung kepadatan dan perbandingan proporsi material dalam campuran HRS-Base

Dengan demikian metode analisa data pada penelitian ini dilakukan dengan cara menghitung, mengolah, dan membandingkan setiap parameter hasil uji laboratorium dengan standar yang berlaku. Hasil analisa tersebut kemudian digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai karakteristik gradasi dan sifat fisik material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) serta menilai kelayakan penggunaannya sebagai agregat pada campuran HRS-Base di Kabupaten Yalimo



BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Distrik Elelim, Kabupaten Yalimo, Provinsi Papua Pegunungan, dengan pengambilan sampel material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dilakukan di dua lokasi quarry utama yaitu Kampung Apalapsilii dan Kampung Habie. Lokasi ini dipilih karena merupakan sumber utama material *batuan Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang digunakan masyarakat setempat untuk konstruksi jalan lingkungan dan memiliki karakteristik yang mewakili kondisi alam di Kabupaten Yalimo. Secara geografis Distrik Elelim terletak di bagian tengah Kabupaten Yalimo dan merupakan pusat administrasi kabupaten sehingga akses menuju lokasi lebih mudah dibanding distrik lainnya. Meskipun demikian, kondisi medan di sekitar lokasi quarry tetap menantang karena sebagian besar wilayah berbukit dan bergelombang, dengan ketinggian antara 500 hingga 1.500 meter di atas permukaan laut. Topografi yang bervariasi ini menyebabkan material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) mengalami proses pelapukan alami yang memengaruhi ukuran butiran dan bentuk fisik batuan. Kampung Apalapsilii dan Kampung Habie merupakan lokasi quarry terbuka di mana batuan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dieksploitasi secara tradisional. Quarry ini berada di lereng dengan kemiringan berkisar antara 15–25%, sehingga material yang diperoleh sebagian besar berbentuk pecahan batu alami dengan variasi ukuran yang cukup beragam. Akses ke quarry dilakukan melalui jalan tanah dan jalur setapak yang digunakan oleh kendaraan kecil dan alat angkut tradisional.

Dalam survei lapangan, pengambilan sampel material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dilakukan secara representatif dengan mempertimbangkan variasi ukuran butiran, kepadatan, dan karakteristik fisik batuan. Dari setiap quarry, diambil masing-masing 100 kg sampel batuan untuk kemudian diuji di laboratorium. Sampel dikumpulkan dan disimpan dengan prosedur yang mempertahankan kondisi alami material agar hasil pengujian laboratorium dapat mencerminkan karakteristik sebenarnya dari batuan di lapangan. Selain kondisi topografi dan fisik batuan, lokasi penelitian juga memperlihatkan akses terbatas terhadap transportasi karena medan yang berbukit dan

sebagian besar jalan berupa tanah atau batu pecah. Hal ini menjadi pertimbangan penting dalam penelitian karena memengaruhi potensi penggunaan material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) untuk konstruksi jalan lingkungan, baik dari segi ketersediaan maupun logistik pengangkutan. Secara keseluruhan lokasi penelitian mencerminkan kondisi pegunungan tropis di Papua yang menantang, di mana pemanfaatan material lokal seperti *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki relevansi tinggi untuk pembangunan infrastruktur jalan yang ekonomis dan teknis layak. Gambaran ini menjadi dasar penting bagi analisis karakteristik gradasi, sifat fisik, dan kelayakan material dalam penelitian ini.



Gambar 4.1. Wawancara Dengan Dinas PUPR Kab. Yalimo, Tokoh Adat Dan Tokoh Masyarakat

Sumber: Dokumentasi



Gambar 4.2. Proses Pengambilan Sampel

Sumber: Dokumentasi

4.2. Hasil Pengujian Laboratorium

Untuk mengetahui karakteristik material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) sebagai agregat pada lapisan perkerasan HRS-Base dilakukan serangkaian pengujian laboratorium pada sampel yang telah diambil dari Kampung Apalapsilii dan Kampung Habie, Distrik Elelim. Pengujian ini bertujuan untuk menilai gradasi, sifat fisik serta kelayakan teknis material berdasarkan standar yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Pengujian yang dilakukan meliputi analisis saringan untuk gradasi agregat halus dan kasar, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pengujian keausan dengan mesin Los Angeles, uji setara pasir, jumlah bahan halus yang lolos saringan No. 200, uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran aspal, kekekalan bentuk terhadap larutan natrium sulfat dan magnesium sulfat, persentase partikel pipih dan lonjong, serta pengujian berat jenis agregat gabungan dan berat jenis aspal padat. Hasil pengujian ini akan disajikan secara sistematis pada setiap sub-bab berikut, dimulai dari analisis gradasi agregat hingga pengujian berat jenis aspal, disertai pembahasan mengenai kesesuaian material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dengan persyaratan teknis HRS-Base

4.2.1. Analisis Saringan (Gradasi Agregat Halus Dan Kasar)

Analisis saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran dari material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), baik untuk agregat halus maupun agregat kasar. Pengujian ini bertujuan untuk menilai apakah gradasi material memenuhi persyaratan spesifikasi teknis HRS-Base sebagaimana diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Proses pengujian dilakukan dengan menyaring sampel material melalui rangkaian saringan standar mulai dari ukuran besar hingga ukuran halus kemudian menimbang berat material yang tertahan di setiap saringan. Hasil pengujian ini digunakan untuk menyusun kurva gradasi yang akan menjadi dasar evaluasi kesesuaian material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dengan batasan gradasi agregat HRS-Base

Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)
Quarry Kampung Apalapsilii (10-20 cm)
erat bahan kering : 2199,00 Gram

Tabel. 4.1. Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili (10-20 cm)

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")	-	-	-	-
63,5 (2 ½")	-	-	-	-
50,8 (2")	-	-	-	-
36,1 (1 ½")	-	-	-	-
25,4 (1")	-	-	-	100,00
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (1/2")	957,80	957,80	43,56	56,44
9,52 (3/8")	1229,10	2186,90	99,45	0,55
No. 4	-	-	-	-
No. 8	11,30	2198,20	99,96	0,04
No. 16	-	-	-	-
No. 20	-	-	-	-
No. 30	0,80	2199,0	100,00	0,00
No. 40	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-
No. 80	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	0,00	2199,0	100,00	0,00
Pan	0,00	2199,0	100,00	0,00
Modulus Kehalusan			4,43	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahaun 2025

a. Persentase tertahan per saringan	b. Persentase lewat
$Ri = \frac{wi}{W} \times 100\%$ $Ri = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\text{Berat Total}} \times 100\%$	$pi = 100 - \% \text{ Tertahan}$ $\% \text{ Lewat} = 100 - \% \text{ Tertahan}$

Analisis perhitungan pengujian gradasi sampel (10 – 20 cm) material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili sebagai berikut

1. Saringan 12,7 mm (1/2")

Berat tertahan = 957,8 gram

Jumlah berat tertahan = 957,80 gram

$$R_i = \frac{957,80}{2199,00} \times 100\% = 43,56 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 43,56 = 56,44 \%$$

2. Saringan 9,52 mm (3/8")

Berat tertahan = 1229,10 gram

Jumlah berat tertahan = 957,80 + 1229,10 = 2186,90 gram

$$R_i = \frac{2186,90}{2199,00} \times 100\% = 99,45 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 99,45 = 0,55 \%$$

3. Saringan No. 8

Berat tertahan = 11,30 gram

Jumlah berat tertahan = 2186,90 + 11,30 = 2198,20 gram

$$R_i = \frac{2198,20}{2199,00} \times 100\% = 99,96 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 99,96 = 0,04 \%$$

4. Saringan No. 30

Berat tertahan = 0,80 gram

Jumlah berat tertahan = 2198,20 + 0,80 = 2199,00 gram

$$R_i = \frac{2199,00}{2199,00} \times 100\% = 100,00 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 100 = 0,00 \%$$

5. Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus/FM*)

$$FM = \frac{\text{Jumlah persen kumulatif tertahan pada saringan standar}}{100}$$

Data yang di dapat sebagai berikut:

19,1 mm ($\frac{3}{4}$ ") = 0,00% kumulatif tertahan

12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") = 43,56% kumulatif tertahan

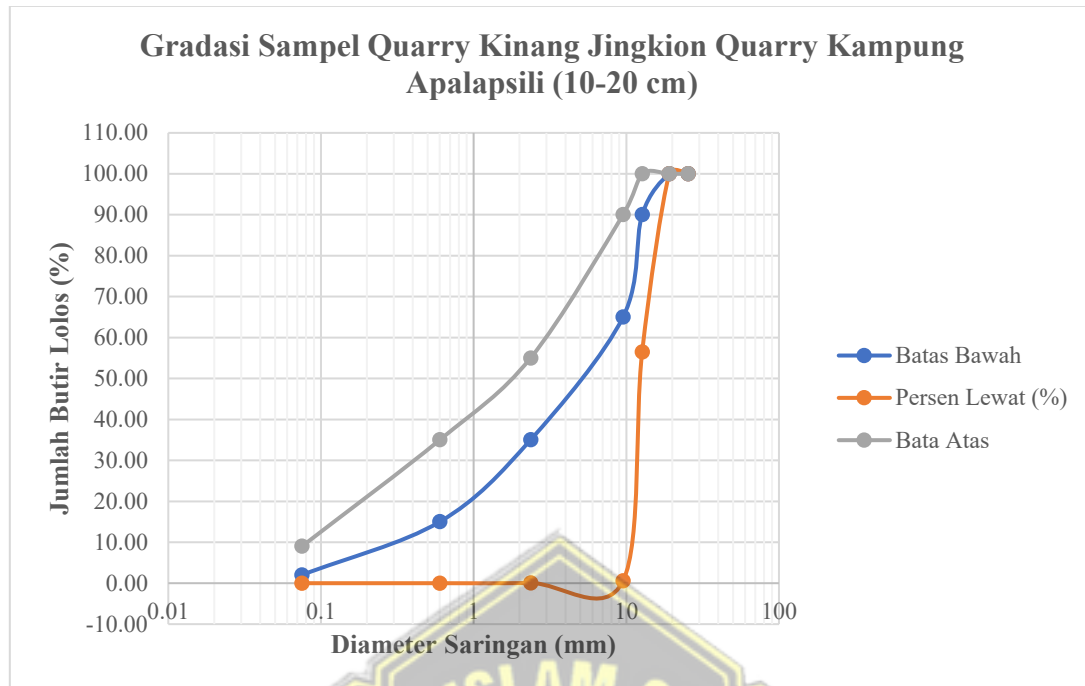
9,52 mm ($\frac{3}{8}$ ") = 99,45% kumulatif tertahan

No. 8 (2,36 mm) = 99,96% kumulatif tertahan

No. 30 (0,6 mm) = 100,00% kumulatif tertahan

$$FM = \frac{0,00 + 43,56 + 99,45 + 99,96 + 100,00}{100} = 3,43$$

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan terhadap material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dengan total berat sampel sebesar 2.199 gram diperoleh distribusi gradasi yang menggambarkan proporsi butiran agregat yang tertahan maupun yang lolos pada setiap ukuran saringan. Pada saringan berukuran 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ "), tidak terdapat butiran agregat yang tertahan sehingga seluruh agregat lolos 100%. Selanjutnya, pada saringan 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") diperoleh berat tertahan sebesar 957,80 gram atau sekitar 43,56%, dengan sisa agregat yang lolos sebesar 56,44%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar agregat mulai tertahan pada ukuran 12,7 mm. Pada saringan 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ "), jumlah agregat yang tertahan meningkat signifikan yaitu 1229,10 gram sehingga kumulatif berat tertahan mencapai 2186,90 gram atau sekitar 99,45%, dengan hanya 0,55% yang masih lolos. Kemudian pada saringan No. 8, agregat yang tertahan sebesar 11,3 gram sehingga kumulatif tertahan mencapai 99,96% dengan sisa lolos 0,04%. Pada saringan No. 30, terdapat tambahan butiran halus sebesar 0,8 gram sehingga seluruh agregat kumulatif tertahan mencapai 100%, artinya tidak ada lagi butiran yang lolos. Pengujian juga menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus*) sebesar 3,43, yang menandakan bahwa agregat ini termasuk dalam kategori agregat kasar dengan gradasi relatif kasar. Dengan demikian, hasil pengujian analisis saringan ini menunjukkan bahwa agregat kasar *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) cenderung terkonsentrasi pada fraksi ukuran 9,52 mm – 12,7 mm, dengan sedikit kandungan butiran halus. Distribusi gradasi ini penting untuk menilai kelayakan agregat dalam campuran perkerasan jalan khususnya dalam mencapai stabilitas dan kepadatan optimal.



Gambar 4.3. Grafik Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili (10-20)
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Grafik gradasi material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) (10–20 cm) menunjukkan penurunan tajam persentase lewat dari saringan besar ke kecil sehingga kurva terlihat di luar batas atas dan bawah spesifikasi HRS-Base standar. Hal ini disebabkan oleh ukuran material yang jauh lebih besar dibanding saringan standar HRS-Base. Meskipun demikian perhitungan numerik menunjukkan bahwa material memenuhi syarat sebagai agregat kasar dengan $FM = 3,43$, menandakan proporsi butiran halus sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa material ini sangat cocok digunakan untuk lapisan pondasi atau base course jalan terutama di daerah terpencil atau lokasi sulit dijangkau. Perlu diperhatikan bahwa pengambilan sampel dilakukan secara manual sehingga kemungkinan terdapat variabilitas ukuran material lebih tinggi dibanding metode grouting. Namun data yang diperoleh tetap memberikan gambaran yang representatif mengenai karakteristik gradasi material dari quarry ini. Dengan karakteristik tersebut, material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki potensi tinggi sebagai agregat lokal untuk konstruksi jalan, meskipun untuk memenuhi standar HRS-Base secara penuh, diperlukan pemecahan ukuran material agar gradasinya lebih merata

Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)
 Quarry Kampung Habie (10-20 cm)

Berat bahan kering : 2204,50 Gram

Tabel. 4.2. Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie (10-20 cm)

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")	-	-	-	-
63,5 (2 ½")	-	-	-	-
50,8 (2")	-	-	-	-
36,1 (1 ½")	-	-	-	-
25,4 (1")	-	-	-	100,00
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	1060,20	1060,20	48,09	51,91
9,52 (⅜")	1130,20	2190,40	99,36	0,64
No. 4	-	-	-	-
No. 8	13,30	2203,80	99,97	0,03
No. 16	-	-	-	-
No. 20	-	-	-	-
No. 30	0,70	2204,5	100,00	0,00
No. 40	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-
No. 80	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	0,00	2204,5	100,00	0,00
Pan	0,00	2204,5	100,00	0,00
Modulus Kehalusan			3,47	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian gradasi sampel (10 – 20 cm) material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie sebagai berikut

1. Saringan 12,7 mm (½")

Berat tertahan = 1060,20 gram

Jumlah berat tertahan = 1060,20 gram

$$R_i = \frac{1060,20}{2204,50} \times 100\% = 48,09 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 48,09 = 51,91 \%$$

2. Saringan 9,52 mm (⅜")

Berat tertahan = 1130,20 gram

Jumlah berat tertahan = 1060,20 + 1130,20 = 2190,40 gram

$$R_i = \frac{2190,40}{2204,50} \times 100\% = 99,36 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 99,36 = 0,64 \%$$

3. Saringan No. 8

Berat tertahan = 13,30 gram

Jumlah berat tertahan = 2190,40 + 13,30 = 2203,70 gram

$$R_i = \frac{2203,70}{2204,50} \times 100\% = 99,96 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 99,96 = 0,04 \%$$

4. Saringan No. 30

Berat tertahan = 0,70 gram

Jumlah berat tertahan = 2203,70 + 0,70 = 2204,50 gram

$$R_i = \frac{2204,40}{2204,50} \times 100\% = 100,00 \%$$

$$\% \text{ Lewat} = 100 - 100 = 0,00 \%$$

5. Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus/FM*)

$$FM = \frac{\text{Jumlah persen kumulatif tertahan pada saringan standar}}{100}$$

Data yang di dapat sebagai berikut:

19,1 mm ($\frac{3}{4}$ ") = 0,00% kumulatif tertahan

12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") = 48,09% kumulatif tertahan

9,52 mm ($\frac{3}{8}$ ") = 99,36% kumulatif tertahan

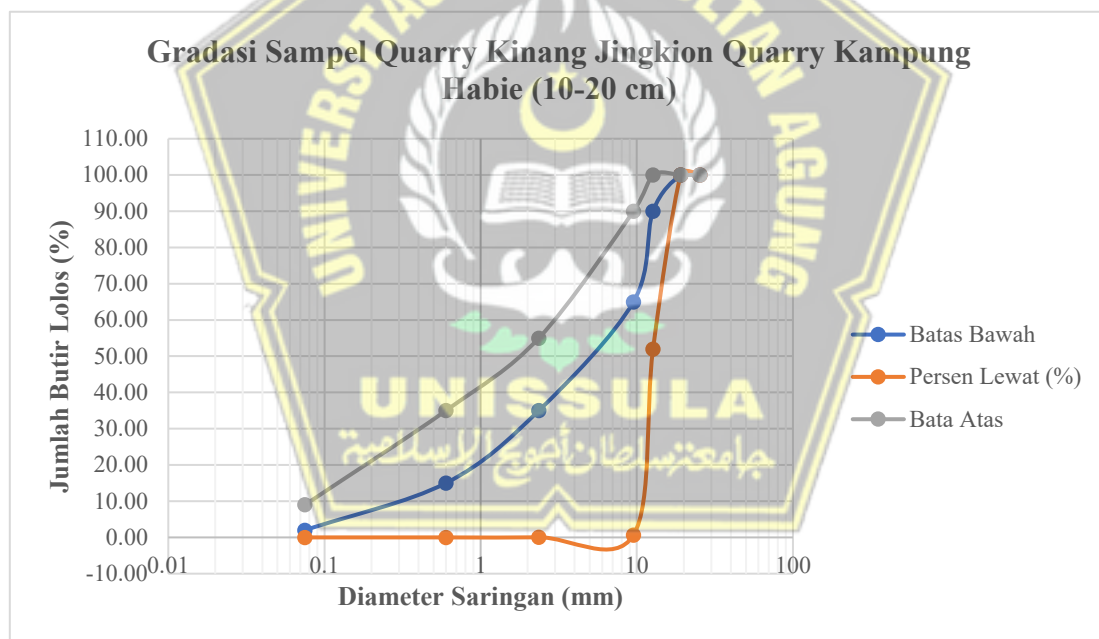
No. 8 (2,36 mm) = 99,96% kumulatif tertahan

No. 30 (0,6 mm) = 100,00% kumulatif tertahan

$$FM = \frac{0,00 + 48,09 + 99,36 + 99,96 + 100,00}{100} = 3,47$$

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat kasar *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) (10 – 20) untuk Kampung Habie dengan berat sampel 2.204,50 gram. Pengujian analisa saringan terhadap agregat kasar menunjukkan distribusi ukuran butiran sebagai berikut. Pada saringan 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ "), berat tertahan sebesar 1060,20 gram atau

48,09% dari total sampel. Artinya sekitar setengah dari agregat tertahan pada saringan ini, sedangkan sisanya 51,91% lolos. Selanjutnya pada saringan 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ "), diperoleh tambahan berat tertahan sebesar 1130,20 gram sehingga jumlah kumulatif tertahan menjadi 2190,40 gram atau 99,36%. Dengan demikian, hanya 0,64% agregat yang masih lolos. Pada saringan No. 8 diperoleh berat tertahan sebesar 13,30 gram dengan jumlah kumulatif 2203,70 gram atau 99,96%, sehingga agregat yang lolos hanya tinggal 0,04%. Terakhir pada saringan No. 30 hampir seluruh agregat sudah tertahan dengan jumlah kumulatif 2204,50 gram atau 100%, menandakan tidak ada lagi butiran yang lolos. Berdasarkan data kumulatif persen tertahan pada saringan standar, diperoleh nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 3,47. Nilai mengindikasikan bahwa agregat ini tergolong ke dalam agregat kasar dengan gradasi kasar (coarse grading). Hal ini menunjukkan butiran agregat dominan berukuran besar, sesuai dengan karakteristik agregat kasar untuk campuran perkerasan jalan.



Gambar 4.4. Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie (10-20)
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Grafik gradasi material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) (10–20 cm) dari Quarry Kampung Habie menunjukkan penurunan tajam persentase lewat dari saringan besar ke kecil sehingga kurva terlihat di luar batas atas dan bawah HRS-Base standar. Hal ini disebabkan oleh ukuran material yang jauh lebih besar dibanding saringan standar HRS-

Base (2–25 mm), bukan karena material tidak memenuhi syarat. Berdasarkan perhitungan numerik material memiliki $FM = 3,47$, menunjukkan bahwa material sangat kasar dengan proporsi butiran halus rendah sehingga cocok digunakan untuk lapisan pondasi atau base course jalan khususnya di daerah terpencil. Perlu dicatat bahwa pengambilan sampel dilakukan secara manual sehingga mungkin terdapat variabilitas ukuran material tetapi data tetap cukup representatif untuk menilai karakteristik gradasi material. Untuk memenuhi standar HRS-Base sepenuhnya pemecahan ukuran material diperlukan agar gradasi lebih merata dan grafik lebih sesuai batas spesifikasi.

Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)
Quarry Kampung Apalapsilii (0,5-10 cm)

Berat bahan kering : 5202,10 Gram

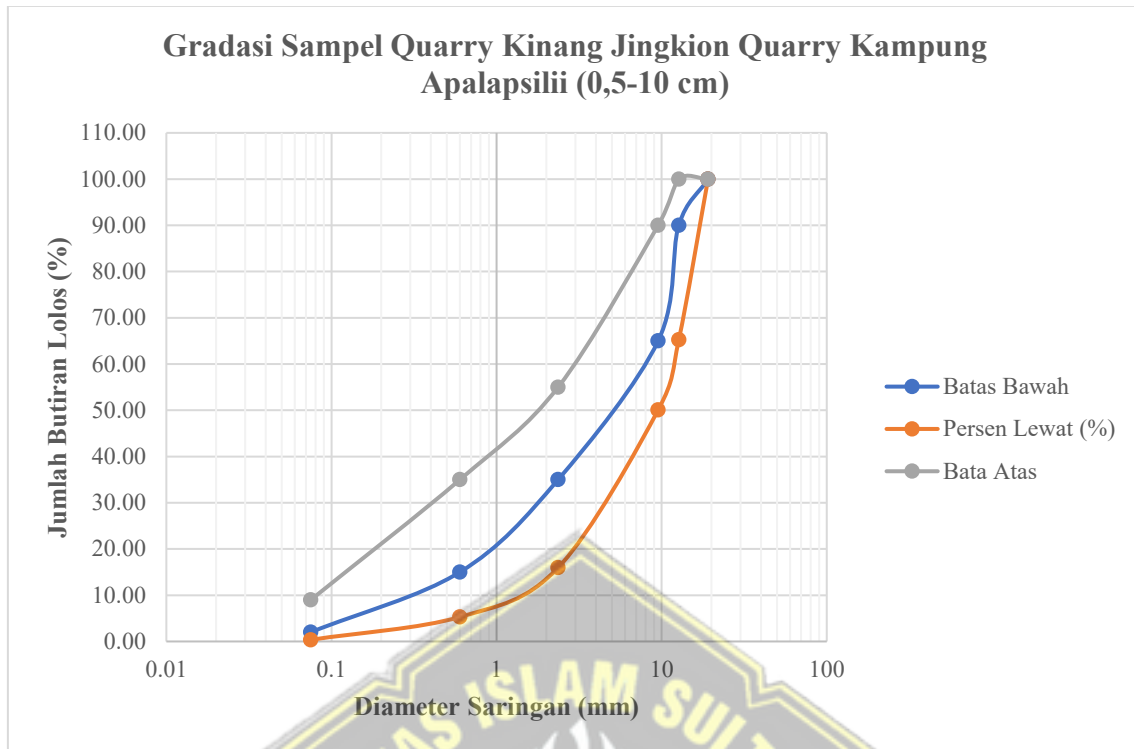
Tabel. 4.3. Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii (0,5-10 cm)

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	1809,00	1809,00	34,77	65,23
9,52 (3/8")	789,00	2598,00	49,94	50,06
No. 4				
No. 8	1773,40	4371,40	84,03	15,97
No. 16				
No. 20				
No. 30	555,00	4926,40	94,70	5,30
No. 40				

No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	257,30	5183,70	99,65	0,35
Pan	18,40			
Modulus Kehalusan			3,63	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan terhadap agregat kasar asal *Quarry Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) (05–10 cm) untuk Kampung Apalapsilii, diperoleh distribusi gradasi yang menunjukkan sebaran butiran cukup bervariasi. Dari perhitungan, pada saringan berukuran 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ "") didapatkan berat tertahan sebesar 1.809 gram atau 34,77% dari total sampel dengan persentase lewat sebesar 65,23%. Selanjutnya, pada saringan 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ "") berat tertahan sebesar 789 gram, sehingga jumlah kumulatif tertahan mencapai 2.598 gram atau 49,94%, dengan persentase lewat sebesar 50,06%. Pada saringan No. 8 berat tertahan meningkat signifikan menjadi 1773,40 gram dengan jumlah kumulatif tertahan 4371,40 gram atau 84,03%, sehingga persentase lewat tersisa 15,97%. Kemudian pada saringan No. 30, tertahan sebesar 555 gram dengan jumlah kumulatif 4926,40 gram, menghasilkan persentase tertahan 94,70% dan lewat 5,30%. Sementara itu pada saringan No. 200 berat tertahan tercatat 257,30 gram dengan kumulatif 5183,70 gram, menghasilkan persentase tertahan 99,65% dan lewat 0,35%. Sisa material halus yang lolos ke pan sebesar 18,40 gram sehingga total berat sampel keseluruhan mencapai 5202,10 gram atau 100%. Dari hasil tersebut, diperoleh nilai Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus/FM*) sebesar 3,63. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat hasil pengujian termasuk dalam kategori agregat kasar sesuai dengan klasifikasi gradasi menurut standar Bina Marga. Hal ini mengindikasikan bahwa material *Quarry Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki karakteristik butiran yang relatif seragam dengan dominasi ukuran menengah–kasar, sehingga dapat mendukung fungsi agregat sebagai penyusun utama pada campuran perkerasan jalan khususnya lapisan HRS-Base.



**Gambar 4.5. Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilli (0,5-10 cm)
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025**

Grafik gradasi material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) (0,5–10 cm) dari Quarry Kampung Apalapsilli menunjukkan penurunan bertahap persentase lewat dari saringan besar ke kecil sehingga kurva mendekati batas HRS-Base standar. Hal ini menunjukkan distribusi ukuran material lebih seimbang dibanding agregat berukuran lebih besar, dengan proporsi butiran halus yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lapisan pondasi. Berdasarkan perhitungan $FM = 3,63$, menegaskan bahwa material tergolong kasar dengan proporsi butiran halus rendah hingga sedang sehingga cocok untuk lapisan pondasi atau base course jalan, terutama di daerah terpencil. Pengambilan sampel dilakukan secara manual sehingga mungkin terdapat sedikit variabilitas ukuran, namun data tetap representatif untuk menilai karakteristik gradasi agregat lokal ini

Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)
Quarry Kampung Habie (0,5-10 cm)

Berat bahan kering : 4584,90 Gram

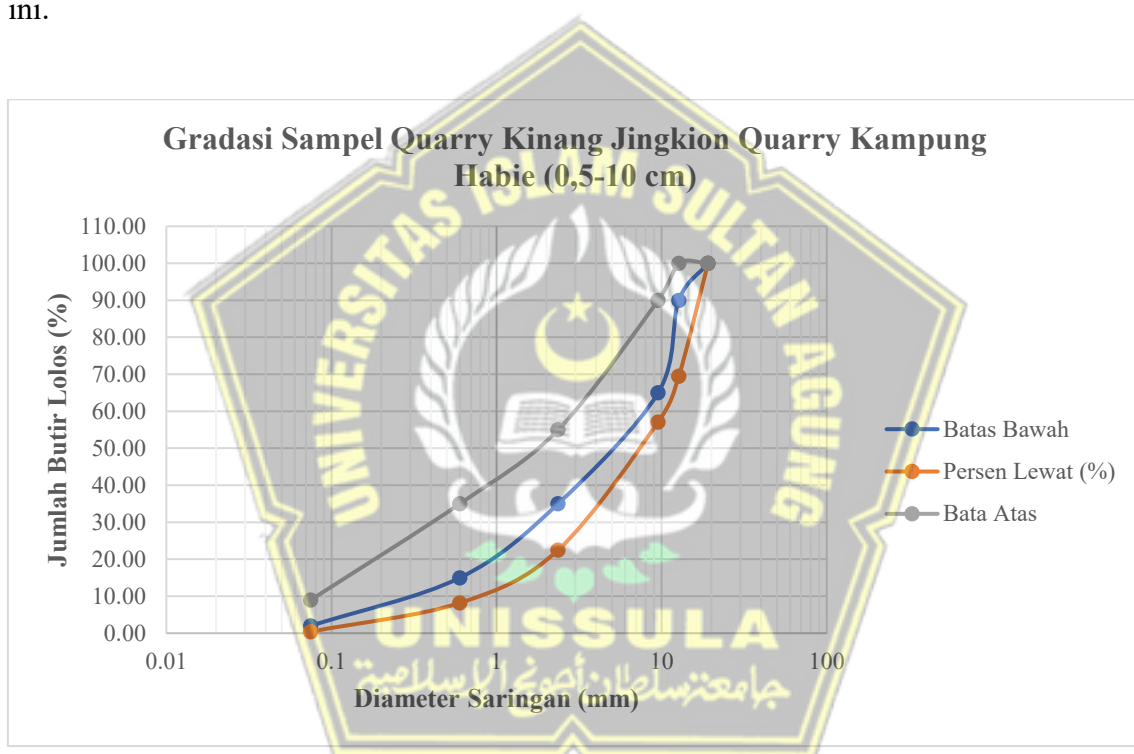
Tabel. 4.4. Hasil Pengujian Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) Quarry Kampung Habie (0,5-10 cm)

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	1399,00	1399,00	30,51	69,49
9,52 (⅜")	567,00	1966,00	42,88	57,12
No. 4				
No. 8	1587,80	3553,80	77,51	22,49
No. 16				
No. 20				
No. 30	655,30	4209,10	91,80	8,20
No. 40				
No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	356,7	4565,8	99,58	0,42
Pan	19,10			
Modulus Kehalusan			3,42	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Berdasarkan hasil pengujian gradasi (0,5 – 10 cm) pada sampel Kampung Habie diperoleh data bahwa pada saringan 12,7 mm (½") terdapat berat tertahan sebesar 1399,00 gram atau setara dengan 30,51%, sehingga material yang lolos saringan tersebut adalah 69,49%. Pada saringan 9,52 mm (⅜"), berat tertahan sebesar 567,00 gram dengan jumlah kumulatif 1966,00 gram, yang menghasilkan persentase kumulatif tertahan sebesar 42,88% dan material yang lolos sebesar 57,12%. Selanjutnya pada saringan No. 8, berat tertahan sebesar 1587,80 gram dengan jumlah kumulatif 3553,80 gram. Persentase kumulatif tertahan pada saringan ini mencapai 77,51%, sedangkan material yang lolos sebesar 22,49%. Pada saringan No. 30, diperoleh berat tertahan sebesar 655,30 gram dengan jumlah kumulatif 4209,10 gram sehingga persentase kumulatif tertahan mencapai 91,80%, dan yang lolos sebesar 8,20%. Untuk saringan No. 200, berat tertahan adalah

356,70 gram dengan jumlah kumulatif 4565,80 gram. Hasilnya menunjukkan persentase kumulatif tertahan sebesar 99,58% dan material yang lolos sebesar 0,42%. Adapun pada pan diperoleh sisa berat sebesar 19,10 gram sehingga jumlah kumulatif total sama dengan berat sampel, yaitu 4584,90 gram atau 100% tertahan. Dari hasil tersebut, diperoleh nilai Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus/FM*) sebesar 3,42. Nilai ini menunjukkan bahwa gradasi agregat pada sampel B berada dalam kategori agregat kasar dengan butiran yang relatif lebih halus dibandingkan dengan sampel A ($FM = 3,63$). Dengan kata lain distribusi ukuran butir menunjukkan proporsi partikel halus yang lebih besar sehingga dapat mempengaruhi sifat campuran beton atau perkerasan aspal yang menggunakan agregat ini.



Gambar 4.6. Grafik Gradasi Sampel Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie (0,5-10 cm)
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian gradasi agregat kasar ukuran 0,5–10 cm dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), Kampung Habie, menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 3,42, yang berada dalam kisaran yang diperbolehkan untuk lapisan dasar HRS-Base menurut Standar Umum Bina Marga 2020. Nilai FM ini mengindikasikan bahwa secara keseluruhan material tergolong bergradasi kasar dan memenuhi persyaratan teknis untuk lapisan dasar.

Meskipun nilai FM memenuhi syarat, grafik gradasi menunjukkan adanya beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh karakteristik alami material yang heterogen dan variasi ukuran butiran yang cukup besar, serta metode pengambilan sampel yang dilakukan secara manual. Dengan demikian, meskipun distribusi butiran di beberapa titik tidak ideal, secara keseluruhan material tetap layak digunakan sebagai lapisan dasar HRS-Base

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Abu Batu Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii

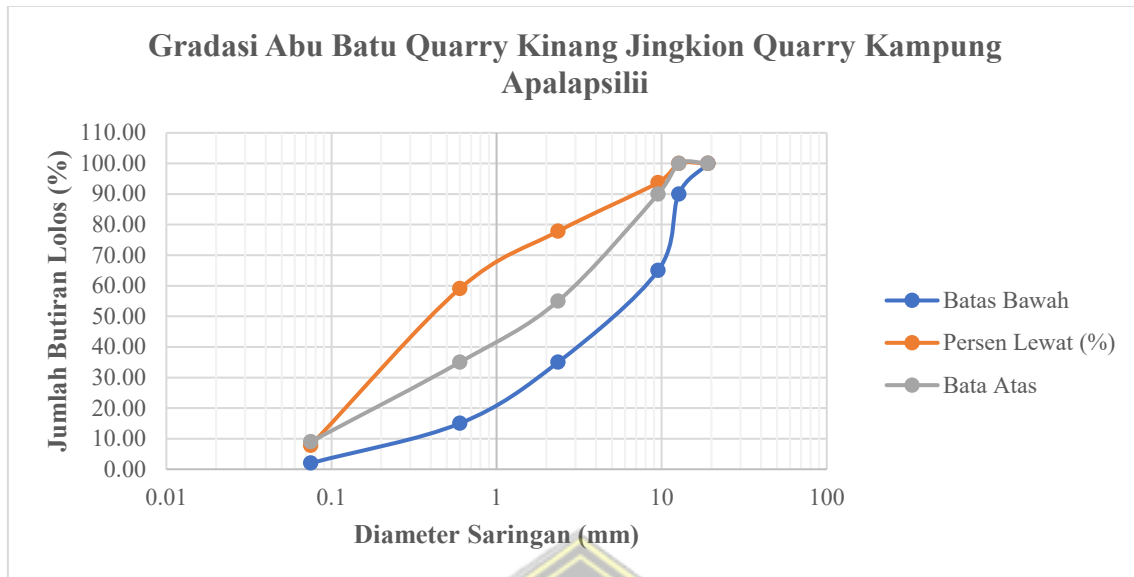
Berat bahan kering : 1601,60 Gram

Tabel. 4.5. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Abu Batu Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,0	0,0	0,00	100,00
12,7 (½")	0,0	0,0	0,00	100,00
9,52 (⅜")	100,00	100,00	6,24	93,76
No. 4				
No. 8	255,0	355,0	22,17	77,83
No. 16				
No. 20				
No. 30	300,2	655,2	40,91	59,09
No. 40				
No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	821,0	1476,2	92,17	7,83
Pan	125,4	1601,6	100,00	0,00
Modulus Kehalusan			1,61	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan terhadap agregat halus abu batu dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsilii (0,5-10 cm diperoleh distribusi butiran sebagai berikut. Pada saringan 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ "") dan 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ""), tidak ada butiran yang tertahan (0,00 gram) sehingga persentase kumulatif tertahan adalah 0,00% dan seluruh butiran lolos 100%. Hal ini menunjukkan bahwa material yang diuji berukuran jauh lebih halus dari saringan kasar tersebut. Pada saringan 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ ""), material yang tertahan sebanyak 100 gram atau sebesar 6,24%, dengan butiran yang masih lolos sebesar 93,76%. Jumlah ini menandakan sebagian kecil agregat masih memiliki butiran yang relatif kasar, namun jumlahnya sangat kecil. Selanjutnya pada saringan No. 8, berat tertahan mencapai 255 gram sehingga jumlah kumulatif tertahan sebesar 355 gram atau 22,17%, dengan persentase lolos 77,83%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar butiran agregat berada pada ukuran lebih halus dari saringan ini. Pada saringan No. 30, material yang tertahan sebesar 300,20 gram, sehingga jumlah kumulatif tertahan mencapai 655,20 gram atau 40,91%, dengan persentase lolos 59,09%. Ini memperlihatkan bahwa proporsi butiran halus mulai mendominasi distribusi. Kemudian pada saringan No. 200, berat yang tertahan sebesar 821 gram dengan jumlah kumulatif tertahan mencapai 1476,20 gram atau 92,17%, dan material yang lolos hanya 7,83%. Hal ini menunjukkan dominasi butiran sangat halus dalam agregat yang diuji. Terakhir pada pan, material yang tertahan sebesar 125,40 gram, sehingga total berat sampel yang dianalisis adalah 1601,60 gram, dengan persentase kumulatif tertahan 100%. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 1,61. Nilai FM ini tergolong sangat rendah jika dibandingkan dengan standar agregat halus pada umumnya (FM berkisar antara 2,3–3,1 menurut SNI/ASTM). Dengan demikian, agregat abu batu dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) ini termasuk dalam kategori agregat sangat halus (*fine sand*)



Gambar 4.7. Gradasi Abu Batu Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian gradasi agregat halus berupa abu batu dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), Kampung Apalapsilii, menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 1,61. Nilai ini berada dalam kisaran yang sesuai untuk material agregat halus menunjukkan bahwa secara keseluruhan distribusi butiran tergolong halus dan memenuhi persyaratan teknis lapisan HRS-Base menurut Standar Umum Bina Marga 2020. Meskipun FM memenuhi persyaratan grafik gradasi menunjukkan adanya beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh karakteristik alami material yang heterogen di mana sebagian butiran cenderung lebih besar atau lebih halus, serta metode pengambilan sampel manual yang dapat mempengaruhi representativitas sampel. Dengan demikian meskipun distribusi butiran di beberapa titik tidak sepenuhnya ideal, material abu batu ini tetap layak digunakan sebagai agregat halus untuk lapisan dasar HRS-Base, karena nilai FM mencerminkan karakteristik keseluruhan material yang memadai untuk konstruksi perkerasan

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Abu Batu Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

Berat bahan kering : 1994,40 Gram

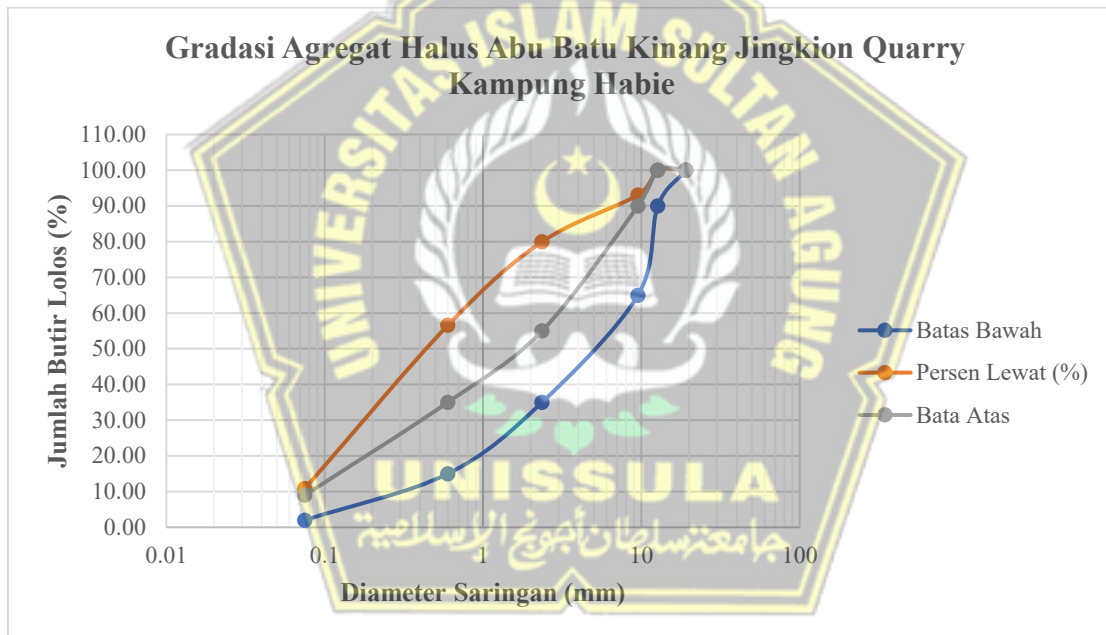
Tabel. 4.6. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Abu Batu Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,52 (3/8")	138,3	138,3	6,92	93,08
No. 4				
No. 8	262,3	400,6	20,04	79,96
No. 16				
No. 20				
No. 30	467,5	868,1	43,42	56,58
No. 40				
No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	914,1	1782,2	89,14	10,86
Pan	217,2	1999,4	100,00	0,00
Modulus Kehalusan			1,60	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian analisis saringan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat halus yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan hasil perhitungan berat total sampel yang diuji adalah 1999,40 gram. Proses pengujian dilakukan secara bertahap melalui saringan bertingkat mulai dari ukuran 19,1 mm (¾") hingga saringan halus No. 200 serta ditampung sisa material pada pan. Pada saringan 19,1 mm (¾") dan 12,7 mm (½"), tidak terdapat material yang tertahan (0 gram). Hal ini menunjukkan bahwa seluruh material dapat lolos dari kedua saringan tersebut dengan persentase lolos sebesar 100%. Material mulai tertahan pada saringan 9,52 mm (3/8") dengan berat 138,30 gram atau sebesar 6,92%, sehingga agregat yang lolos pada ukuran ini masih relatif besar yaitu 93,08%. Selanjutnya pada saringan No. 8, material yang tertahan sebesar 262,30 gram sehingga jumlah kumulatif tertahan mencapai 400,60 gram

atau 20,04%, dengan material yang lolos sebesar 79,96%. Pada saringan No. 30, jumlah material tertahan semakin besar yaitu 467,50 gram, sehingga jumlah kumulatif mencapai 868,10 gram atau 43,42%, dengan persentase lolos sebesar 56,58%. Distribusi butiran paling dominan terdapat pada saringan No. 200, yaitu sebesar 914,10 gram. Dengan demikian jumlah kumulatif yang tertahan mencapai 1782,20 gram atau 89,14%, sedangkan material yang lolos tinggal 10,86%. Sisa material halus yang lolos saringan No. 200 dan tertampung pada pan adalah 217,20 gram sehingga jumlah kumulatif seluruh berat tertahan menjadi 1999,40 gram atau 100%, sesuai dengan total berat sampel. Nilai FM sebesar 1,60 ini menunjukkan bahwa agregat yang diuji tergolong dalam kategori agregat sangat halus, karena nilai FM berada jauh di bawah kisaran standar agregat halus untuk beton (umumnya 2,3 – 3,1 sesuai SNI dan ASTM)



Gambar 4.8. Gradasi Abu Batu Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Pengujian gradasi agregat halus berupa abu batu dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), Kampung Habie, menghasilkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 1,60. Nilai FM ini menunjukkan bahwa material secara keseluruhan tergolong sangat halus dan memenuhi persyaratan teknis untuk lapisan HRS-Base menurut Standar Umum Bina Marga 2020. Meskipun FM memenuhi kriteria grafik gradasi

memperlihatkan beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh karakteristik alami material yang heterogen dan variasi ukuran butiran, serta metode pengambilan sampel manual yang berpotensi memengaruhi representativitas. Dengan demikian meskipun distribusi butiran di beberapa titik tidak sepenuhnya ideal, material abu batu ini tetap layak digunakan sebagai agregat halus untuk lapisan dasar HRS-Base. Nilai FM mencerminkan karakteristik keseluruhan material yang memadai untuk konstruksi perkerasan sementara grafik gradasi memberikan informasi tambahan mengenai variasi butiran pada tiap titik pengujian

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Pasir Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii
 Berat bahan kering : 956,5 Gram

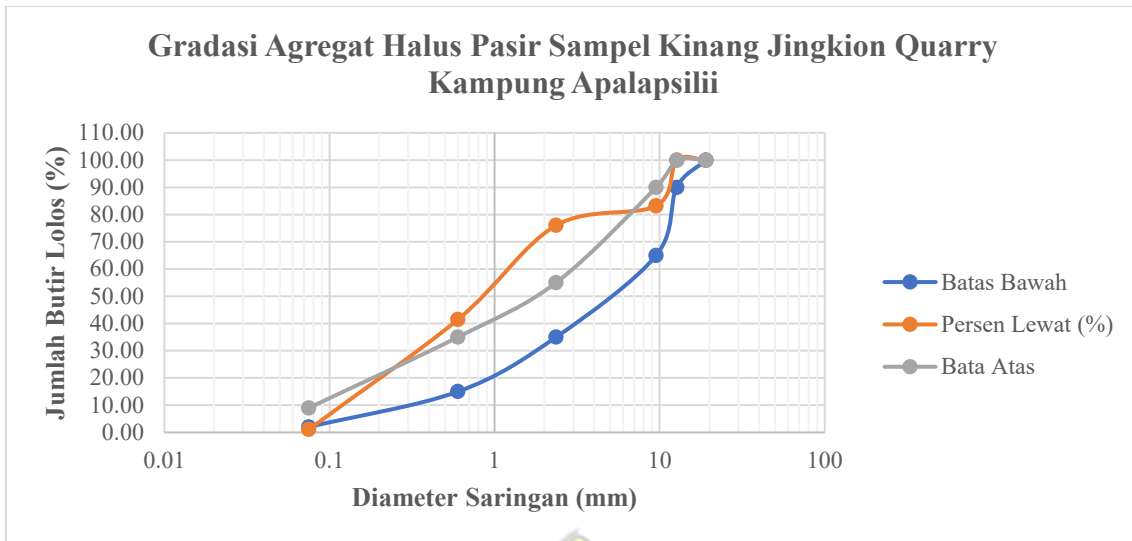
Tabel. 4.7. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,52 (⅜")	160,6	160,6	16,79	83,21
No. 4				
No. 8	68,7	229,3	23,97	76,03
No. 16				
No. 20				
No. 30	330,4	559,7	58,52	41,48
No. 40				
No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	386,3	946,0	98,90	1,10
Pan	10,5	956,5	100,00	0,00

Modulus Kehalusan			1,98	
-------------------	--	--	------	--

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian gradasi butiran agregat halus pasir dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsilii dilakukan dengan menggunakan analisis saringan standar. Total sampel yang diuji memiliki berat 956,50 gram, dan seluruhnya dapat dipertahankan pada proses pengayakan sehingga menunjukkan konsistensi hasil pengujian. Pada saringan berukuran 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ "") dan 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ""), tidak terdapat material yang tertahan. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh butiran pasir berukuran lebih kecil dari 12,7 mm. Persentase kumulatif tertahan pada kedua saringan tersebut adalah 0,00%, sedangkan persentase lolos mencapai 100,00%. Pada saringan 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ ""), material yang tertahan sebanyak 160,60 gram dengan jumlah kumulatif yang sama yaitu 160,60 gram atau setara 16,79%, sementara material yang lolos sebesar 83,21%. Kemudian pada saringan No. 8, material yang tertahan bertambah sebanyak 68,70 gram, sehingga jumlah kumulatif menjadi 229,30 gram atau 23,97%. Sisa material yang lolos sebesar 76,03%. Distribusi butiran lebih dominan ditemukan pada saringan No. 30 dengan material tertahan sebanyak 330,40 gram. Jumlah kumulatif meningkat menjadi 559,70 gram atau 58,52%, dengan material yang lolos sebesar 41,48%. Selanjutnya pada saringan No. 200, material tertahan mencapai 386,30 gram, sehingga jumlah kumulatif meningkat menjadi 946,00 gram. Persentase kumulatif tertahan sebesar 98,90%, dengan material lolos hanya tersisa 1,10%. Pada pan terdapat sisa material halus sebanyak 10,50 gram sehingga jumlah kumulatif keseluruhan adalah 956,50 gram. Nilai ini sama dengan berat awal sampel, sehingga pengujian dinyatakan valid tanpa adanya kehilangan material. Nilai FM sebesar 1,98 menunjukkan bahwa pasir dari *Quarry Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) termasuk dalam kategori agregat sangat halus karena berada di bawah standar FM untuk agregat halus yang direkomendasikan (2,3–3,1 menurut SNI/ASTM). Agregat yang terlalu halus dapat meningkatkan kebutuhan pasta semen dalam campuran beton serta berpengaruh terhadap workability. Oleh karena itu penggunaannya perlu dipertimbangkan dengan cermat terutama jika akan diaplikasikan dalam campuran beton struktural.



**Gambar 4.9. Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025**

Pengujian gradasi agregat halus berupa pasir dari Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion), Kampung Apalapsilii menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 1,98. Nilai ini mengindikasikan bahwa material secara keseluruhan tergolong halus sehingga sesuai untuk digunakan sebagai agregat halus pada lapisan dasar HRS-Base sesuai Standar Umum Bina Marga 2020. Meskipun FM memenuhi persyaratan, grafik gradasi memperlihatkan adanya beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Hal ini disebabkan oleh sifat alami material yang heterogen, variasi ukuran butiran pasir, serta metode pengambilan sampel yang dilakukan secara manual sehingga tidak semua titik pengukuran sepenuhnya representatif. Dengan demikian meskipun distribusi butiran di beberapa titik tidak ideal material pasir ini tetap layak digunakan sebagai agregat halus untuk lapisan dasar HRS-Base. FM menjadi indikator utama bahwa karakteristik keseluruhan material memadai untuk konstruksi perkerasan, sementara grafik memberikan informasi tambahan tentang variasi ukuran butiran pada titik-titik tertentu

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Pair Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

Berat bahan kering : 810,6 Gram

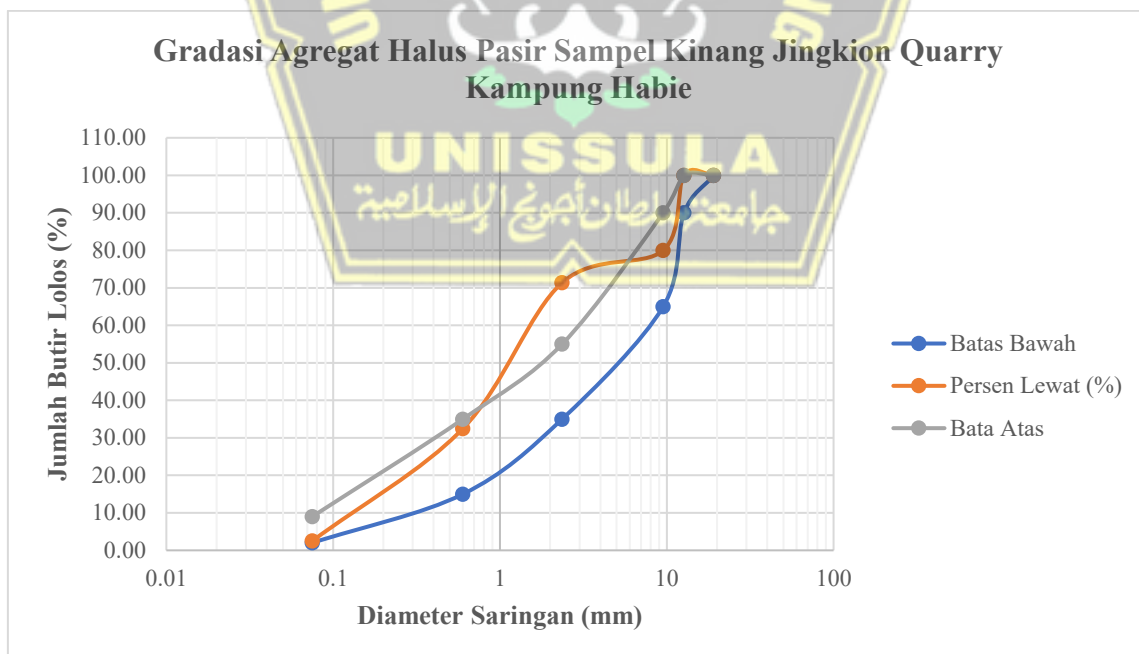
Tabel. 4.8 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,52 (3/8")	162,00	162,00	19,99	80,01
No. 4				
No. 8	70,00	232,00	28,62	71,38
No. 16				
No. 20				
No. 30	315,20	547,20	67,51	32,49
No. 40				
No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	243,1	790,3	97,50	2,50
Pan	20,3	810,6	100,00	0,00
Modulus Kehalusan			2,14	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian analisis saringan terhadap agregat halus Pasir Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Habie dilakukan untuk mengetahui distribusi gradasi butirannya. Berat sampel kering yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebesar 810,60 gram. Hasil pengayakan menunjukkan bahwa pada saringan 19,1 mm (¾") dan 12,7 mm (½") tidak terdapat butiran yang tertahan sehingga persentase kumulatif tertahan pada kedua saringan tersebut adalah 0,00% dengan persentase lolos sebesar 100,00%. Hal

ini menandakan bahwa agregat yang diuji sepenuhnya berukuran lebih kecil dari saringan tersebut. Pada saringan 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ "'), terdapat butiran yang tertahan sebesar 162,00 gram sehingga jumlah kumulatif tertahan menjadi 162,00 gram atau 19,99% dari berat total sampel, dengan persentase lolos sebesar 80,01%. Selanjutnya pada saringan No. 8, tertahan sebesar 70,00 gram, dengan jumlah kumulatif tertahan 232,00 gram atau 28,62%, dan persentase lolos 71,38%. Butiran yang lebih halus semakin dominan pada saringan berikutnya. Pada saringan No. 30, diperoleh berat tertahan 315,20 gram, dengan jumlah kumulatif tertahan 547,20 gram atau 67,51%, serta persentase lolos 32,49%. Sementara pada saringan No. 200, tertahan sebanyak 243,10 gram, dengan jumlah kumulatif tertahan 790,30 gram atau 97,50%, sehingga persentase lolos hanya 2,50%. Sisanya sebesar 20,30 gram berada pada pan sehingga jumlah kumulatif keseluruhan mencapai 810,60 gram atau 100,00% sesuai dengan berat sampel awal. Berdasarkan hasil perhitungan kumulatif pada saringan standar, diperoleh Modulus Kehalusan (FM) sebesar 2,14. Nilai ini menunjukkan bahwa pasir Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Habie termasuk dalam kategori agregat halus dengan tingkat kehalusan sedang yang masih sesuai dengan persyaratan material untuk campuran beton maupun campuran beraspal, tergantung pada spesifikasi teknis yang digunakan



Gambar 4.10. Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian gradasi agregat halus berupa pasir dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), Kampung Habie menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 2,14. Nilai FM ini mengindikasikan bahwa material tergolong halus hingga sedang sehingga memenuhi persyaratan teknis untuk agregat halus pada lapisan dasar HRS-Base sesuai Standar Umum Bina Marga 2020. Meskipun FM sesuai kriteria, grafik gradasi memperlihatkan beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh karakteristik alami material yang heterogen, variasi ukuran butiran pasir serta pengambilan sampel manual yang dapat memengaruhi representativitas sampel. Dengan demikian meskipun distribusi butiran di beberapa titik tidak sepenuhnya ideal, material pasir ini tetap layak digunakan sebagai agregat halus untuk lapisan dasar HRS-Base. FM menjadi indikator utama bahwa karakteristik keseluruhan material memadai untuk konstruksi perkerasan, sementara grafik gradasi memberikan informasi tambahan mengenai variasi butiran pada titik-titik tertentu

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Filler Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii

Berat bahan kering : 795,10 Gram

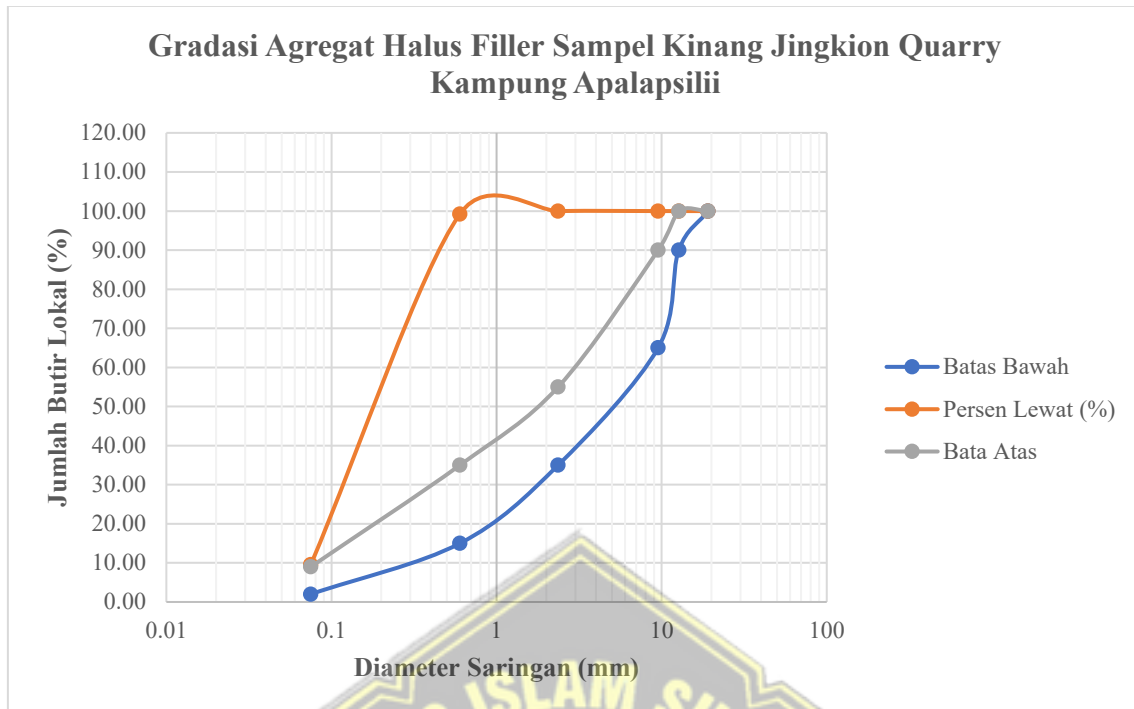
Tabel. 4.9 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Filler Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,52 (⅜")	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4				
No. 8	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 16				
No. 20				
No. 30	6,00	6,00	0,75	99,25
No. 40				

No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	713,10	719,10	90,44	9,56
Pan	76,00	795,10	100,00	0,00
Modulus Kehalusan				

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan terhadap agregat halus filler Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsilii dengan berat sampel kering sebesar 795,10 gram, diperoleh bahwa tidak ada butiran yang tertahan pada saringan berukuran 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ "), 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ "), 9,52 mm ($\frac{3}{8}$ "), maupun saringan No. 8. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh material memiliki ukuran butiran yang jauh lebih kecil dari saringan tersebut atau dengan kata lain material tergolong sangat halus. Pada saringan No. 30 hanya terdapat butiran yang tertahan sebesar 6,00 gram atau sekitar 0,75% dari total sampel, sehingga sebagian besar butiran masih mampu melewati saringan tersebut. Selanjutnya, pada saringan No. 200 jumlah butiran yang tertahan mencapai 713,10 gram, sehingga kumulatif tertahan menjadi 719,10 gram atau sekitar 90,44% dari berat sampel artinya sebagian besar butiran pasir berukuran sangat halus dan mendekati kategori debu. Pada bagian pan (wadah penampung akhir), masih terdapat material sebesar 76,00 gram, sehingga total keseluruhan butiran kembali sesuai dengan berat sampel awal yakni 795,10 gram. Dari hasil tersebut perhitungan Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus/FM*) menunjukkan nilai sebesar 0,91. Nilai ini berada jauh di bawah rentang standar agregat halus untuk beton menurut SNI yaitu antara 2,3 hingga 3,1. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa agregat halus filler Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsilii memiliki gradasi yang terlalu halus untuk digunakan langsung sebagai agregat halus pada campuran beton atau perkerasan jalan. Jika digunakan tanpa campuran agregat yang lebih kasar, material ini berpotensi meningkatkan kebutuhan semen atau aspal menurunkan kekuatan campuran, serta menyebabkan penyusutan yang tinggi.



Gambar 4.11. Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsilii
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian gradasi agregat halus berupa filler dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), Kampung Apalapsilii menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 0,91. Nilai FM yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa material tergolong sangat halus sesuai dengan fungsinya sebagai filler untuk mengisi ruang antar butiran pada campuran perkerasan HRS-Base. Meskipun FM memenuhi persyaratan grafik gradasi menunjukkan beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Fenomena ini disebabkan oleh karakteristik alami material yang sangat halus, variasi partikel yang terjadi secara alami serta metode pengambilan sampel manual yang dapat memengaruhi representativitas. Dengan demikian, meskipun distribusi partikel di beberapa titik tidak ideal material filler ini tetap layak digunakan dalam campuran perkerasan HRS-Base. FM menjadi indikator utama bahwa karakteristik keseluruhan material memadai untuk meningkatkan kepadatan campuran, sementara grafik gradasi memberikan informasi tambahan mengenai variasi ukuran partikel di titik pengujian tertentu

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Filler Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

Berat bahan kering : 875,90 Gram

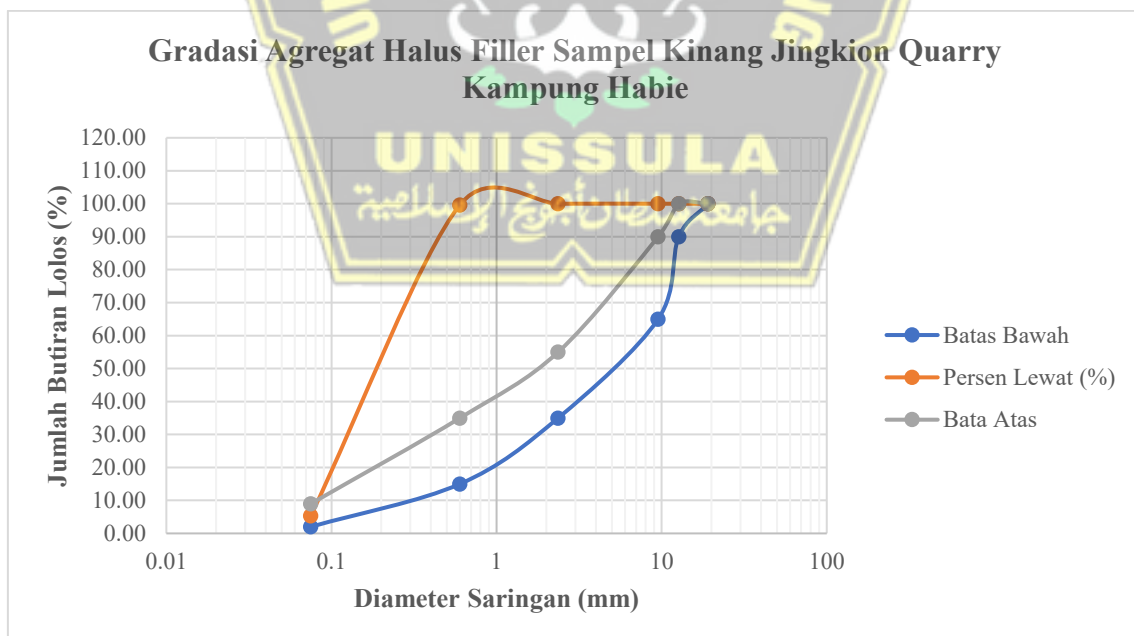
Tabel. 4.10. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus Filler Sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

Saringan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ½")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ½")				
25,4 (1")				
19,1 (¾")	0,00	0,00	0,00	100,00
12,7 (½")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,52 (⅜")	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4				
No. 8	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 16				
No. 20				
No. 30	3,00	3,00	0,34	99,66
No. 40				
No. 50				
No. 80				
No. 100				
No. 200	825,90	828,90	94,63	5,37
Pan	47,00	875,90	100,00	0,00
Modulus Kehalusan				

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan terhadap agregat halus berupa pasir filler Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Habie dengan berat sampel 875,90 gram diperoleh distribusi butiran sebagai berikut. Pada saringan berukuran besar, yaitu 19,1 mm (¾"), 12,7 mm (½"), 9,52 mm (⅜"), dan No. 8, tidak terdapat butiran yang tertahan, sehingga persentase butiran kumulatif tertahan pada saringan tersebut adalah 0,00%, dengan persentase lolos mencapai 100,00%. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh material memiliki ukuran jauh lebih halus daripada ukuran saringan tersebut. Selanjutnya pada saringan No. 30 diperoleh berat tertahan sebesar 3,00 gram atau sebesar 0,34% dari total sampel dengan persentase butiran yang lolos sebesar 99,66%. Sementara

itu pada saringan No. 200 terdapat berat tertahan sebesar 825,90 gram, sehingga jumlah kumulatif tertahan mencapai 828,90 gram atau sekitar 94,63% dari total sampel dengan persentase butiran lolos hanya sebesar 5,37%. Sisa material yang tertahan di pan sebesar 47,00 gram, sehingga total berat sampel kembali sesuai dengan berat awal yaitu 875,90 gram. Hasil perhitungan Modulus Kehalusan (Fineness Modulus/FM) menunjukkan nilai sebesar 0,95, yang didapat dari penjumlahan persentase kumulatif tertahan pada saringan standar (19,1 mm, 12,7 mm, 9,52 mm, No. 8, No. 30, dan No. 200) dibagi dengan 100. Nilai FM yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa material filler dari Quarry Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) termasuk dalam kategori sangat halus, bahkan lebih halus dibandingkan agregat halus normal (pasir) yang umumnya memiliki FM antara 2,3 – 3,1. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa material ini tidak dapat digunakan langsung sebagai agregat halus utama pada campuran beton atau campuran aspal karena gradasinya terlalu halus sehingga dapat meningkatkan kebutuhan semen atau aspal serta menurunkan workability campuran. Akan tetapi material ini sangat sesuai digunakan sebagai filler (bahan pengisi) dalam campuran beraspal maupun beton, atau dapat dicampurkan dengan pasir yang lebih kasar agar menghasilkan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi standar.



Gambar 4.12. Gradasi Agregat Halus Pasir Sampel Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian gradasi agregat halus filler dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), Kampung Habie menunjukkan nilai Modulus Kehalusan (FM) sebesar 0,95. Nilai FM ini mengindikasikan bahwa material tergolong sangat halus, sesuai dengan fungsi filler untuk mengisi ruang antar butiran pada campuran perkerasan HRS-Base. Meskipun FM memenuhi persyaratan teknis, grafik gradasi menunjukkan adanya beberapa titik distribusi yang melewati batas bawah dan atas spesifikasi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik alami material yang sangat halus, variasi ukuran partikel, serta pengambilan sampel secara manual yang dapat memengaruhi representativitas. Dengan demikian meskipun distribusi partikel di beberapa titik tidak ideal, material filler ini tetap layak digunakan dalam campuran perkerasan HRS-Base. FM menjadi indikator utama bahwa karakteristik keseluruhan material memadai untuk meningkatkan kepadatan campuran, sementara grafik gradasi memberikan informasi tambahan mengenai variasi ukuran partikel di titik pengujian tertentu



Tabel 4.11. Rekapitulasi Analisis Saringan (Gradasi Agregat Halus Dan Kasar) Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

Uraian	Ukuran Saringan					
	19,1 (3/4")	12,7 (1/2")	9,52 (3/8")	No. 8	No. 30	No. 200
Data Analisa Saringan						
Quarry <i>Aluvial Gravel Sand</i> (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili						
Agregat Kasar 10 – 20	100,00	56,44	0,55	0,04	0,00	0,00
Agregat Kasar 0,5 – 10	100,00	65,23	50,06	15,97	5,30	0,35
Agregat Halus Abu Batu	100,00	100,00	93,76	77,83	59,09	7,83
Agregat Halus Pasir	100,00	100,00	83,21	76,03	41,48	1,10
Agregat Halus Filler	100,00	100,00	100,00	100,00	99,25	9,56
Quarry <i>Aluvial Gravel Sand</i> (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie						
Agregat Kasar 10 – 20	100,00	51,91	0,64	0,03	0,00	0,00
Agregat Kasar 0,5 – 10	100,00	69,49	57,12	22,49	8,20	0,42
Agregat Halus Abu Batu	100,00	100,00	93,08	79,96	56,58	10,86
Agregat Halus Pasir	100,00	100,00	80,01	71,38	32,49	2,50
Agregat Halus Filler	100,00	100,00	100,00	100,00	99,66	5,37

Uraian	Ukuran Saringan					
	19,1 (3/4")	12,7 (1/2")	9,52 (3/8")	No. 8	No. 30	No. 200
Data Analisa Saringan						
Agregat Kasar 10 – 20	100,00	54,17	0,59	0,03	0,00	0,00
Agregat Kasar 0,5 – 10	100,00	100,00	53,59	19,23	6,75	0,39
Agregat Halus Abu Batu	100,00	100,00	93,42	78,90	57,84	9,35
Agregat Halus Pasir	100,00	100,00	81,61	73,70	36,99	1,80
Agregat Halus Filler	100,00	100,00	81,61	100,00	99,45	7,46
Penggabungan Agregat						
Agregat Kasar 10 – 20	20,00%	20,00	10,80	0,10	0,00	0,00
Agregat Kasar 0,5 – 10	20,00%	20,00	20,00	10,70	3,80	0,10
Agregat Halus Abu Batu	48,00%	48,00	48,00	44,80	37,90	4,50
Agregat Halus Pasir	10,00%	10,00	10,00	8,20	7,40	0,20
Agregat Halus Filler	2,00%	2,00	2,00	1,60	2,00	0,10

4.2.2. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar merupakan salah satu tahapan penting dalam analisis karakteristik material yang akan digunakan sebagai bahan campuran perkerasan jalan. Berat jenis agregat kasar memberikan gambaran mengenai tingkat kepadatan material yang berpengaruh terhadap proporsi campuran, stabilitas serta daya dukung perkerasan. Sementara itu penyerapan air menunjukkan kemampuan pori-pori agregat dalam menyerap air yang berhubungan erat dengan daya tahan (*durabilitas*) agregat terhadap pengaruh cuaca dan kondisi lingkungan. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan sesuai dengan standar SNI 1969:2008 atau metode ASTM yang relevan dengan menggunakan sampel agregat kasar dari lokasi penelitian Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air ini akan dijadikan dasar dalam perhitungan campuran beraspal khususnya dalam menentukan kebutuhan kadar aspal optimum. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut

Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar 1 -2 cm Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
 Metode Uji : SNI 03 – 1969 – 2008

Tabel. 4.12. Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 1- 2 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

Pengujian	I		Satuan
	A	B	
Berat benda uji kering oven (BK)	911,00	908,30	gram
Berat benda uji kering permukaan di udara (BJ)	913,60	914,20	gram
Berat benda uji di dalam air (BA)	573,10	582,20	gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian	Notasi	A	B	Rata - Rata
Berat Jenis Kering (S_d)	$\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,675	2,736	2,706
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (S_s)	$\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,683	2,753	2,718

Berat Jenis Semu (S_a)	$\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,696	2,786	2,741
Penyerapan Air (S_w)	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$	0,29	0,65	0,467

Analisis perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1 -2 cm sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie sebagai berikut

1. Berat Jenis Kering (S_d)

Rumus:

$$S_d = \frac{BK}{(BJ - BA)}$$

Sampel Kampung Apalapsili:

$$S_d = \frac{911,00}{(913,60 - 573,10)} = \frac{911,00}{340,50} = 2,675$$

Sampel Kampung Habie:

$$S_d = \frac{908,30}{(914,20 - 582,20)} = \frac{908,30}{332,00} = 2,736$$

Rata – rata S_d :

$$S_d \text{ rata – rata} = \frac{2,675 + 2,736}{2} = 2,706$$

2. Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (S_s)

Rumus:

$$S_s = \frac{BJ}{(BJ - BA)}$$

Sampel Kampung Apalapsili:

$$S_s = \frac{913,00}{(913,00 - 573,10)} = \frac{913,00}{340,50} = 2,683$$

Sampel Kampung Habie:

$$S_s = \frac{914,20}{(914,20 - 582,20)} = \frac{914,20}{332,00} = 2,753$$

Rata – rata S_s :

$$S_s \text{ rata – rata} = \frac{2,683 + 2,753}{2} = 2,718$$

3. Berat Jenis Semu (S_a)

Rumus:

$$S_a = \frac{BK}{(BK - BA)}$$

Sampel Kampung Apalapsili:

$$S_a = \frac{911,00}{(911,00 - 573,10)} = \frac{911,00}{337,90} = 2,696$$

Sampel Kampung Habie:

$$S_a = \frac{908,30}{(908,30 - 582,20)} = \frac{908,30}{326,10} = 2,786$$

Rata – rata S_a :

$$S_a \text{ rata – rata} = \frac{2,696 + 2,786}{2} = 2,741$$

4. Penyerapan Air (S_w)

Rumus:

$$S_w = \frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$$

Sampel Kampung Apalapsili:

$$S_w = \frac{913,00 - 911,00}{911,00} \times 100\% = \frac{2,60}{911,00} \times 100\% = 0,29\%$$

Sampel Kampung Habie:

$$S_w = \frac{914,00 - 908,30}{908,30} \times 100\% = \frac{5,90}{908,30} \times 100\% = 0,65\%$$

Rata-rata S_w

$$S_w \text{ rata – rata} = \frac{0,29 + 0,65}{2} = 0,47\%$$

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilakukan terhadap dua sampel agregat kasar yaitu sampel Kampung Apalapsili dan sampel Kampung Habie. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai berat jenis kering (S_d) sebesar 2,675 untuk sampel Kampung Apalapsili dan 2,736 untuk sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,706 g/cm³. Berdasarkan standar SNI 03-1974-1990 maupun ASTM C127, kisaran berat jenis agregat normal yang baik adalah antara 2,5 – 3,0 g/cm³. Dengan demikian, nilai rata-rata yang diperoleh masih berada dalam rentang standar tersebut sehingga dapat disimpulkan

bahwa agregat yang diuji termasuk dalam kategori agregat normal dengan kepadatan yang cukup baik

Selanjutnya, nilai berat jenis jenuh kering permukaan (SSD / S_s) diperoleh sebesar 2,683 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,753 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,718 g/cm³. Nilai ini sedikit lebih besar dibandingkan berat jenis kering sesuai dengan teori bahwa pada kondisi SSD pori-pori agregat telah jenuh oleh air. Kisaran ini juga sesuai dengan standar, yaitu 2,6 – 2,8 g/cm³, sehingga dapat dikatakan agregat ini memenuhi kriteria sebagai material konstruksi

Untuk berat jenis semu (S_a), hasil perhitungan menunjukkan nilai 2,696 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,786 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,741 g/cm³. Nilai ini masih dalam kisaran standar agregat normal (2,5 – 2,9 g/cm³), yang menunjukkan bahwa agregat uji mempunyai kepadatan cukup baik dan tidak tergolong sebagai agregat ringan ataupun agregat dengan porositas berlebih

Adapun untuk parameter penyerapan air (S_w), hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 0,29% pada sampel Kampung Apalapsili dan 0,65% pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 0,47%. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 maupun ASTM C127, nilai penyerapan air yang baik untuk agregat normal adalah ≤ 2%. Nilai yang diperoleh pada pengujian ini jauh di bawah batas maksimum, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji memiliki porositas sangat rendah, bersifat padat, dan tahan terhadap serapan air. Kondisi ini sangat menguntungkan karena agregat dengan penyerapan air rendah akan lebih stabil dan awet ketika digunakan dalam campuran beton maupun perkerasan jalan aspal.

- Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar 0,5 -1 cm Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
 Metode Uji : SNI 03 – 1969 – 2008

Tabel. 4.13. Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 0,5- 1 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

Pengujian	I		Satuan
	A	B	
Berat benda uji kering oven (BK)	1145,20	1143,10	gram

Berat benda uji kering permukaan di udara (BJ)	1156,80	1155,30	gram
Berat benda uji di dalam air (BA)	724,30	722,00	gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian	Notasi	A	B	Rata - Rata
Berat Jenis Kering (S _d)	$\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,648	2,638	2,643
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (S _s)	$\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,675	2,666	2,670
Berat Jenis Semu (S _a)	$\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,721	2,714	2,718
Penyerapan Air (S _w)	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$	1,01	1,07	1,04

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilakukan terhadap dua sampel agregat kasar ukuran 0,5 – 1 cm yaitu sampel Kampung Apalapsili dan sampel Kampung Habie dari hasil perhitungan diperoleh nilai berat jenis kering (S_d) sebesar 2,648 untuk sampel Kampung Apalapsili dan 2,638 untuk sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,643 g/cm³. Berdasarkan standar SNI 03-1974-1990 maupun ASTM C127, kisaran berat jenis agregat normal yang baik adalah 2,5 – 3,0 g/cm³. Dengan demikian, nilai rata-rata yang diperoleh masih berada dalam rentang standar tersebut sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji termasuk dalam kategori agregat normal dengan kepadatan yang baik

Selanjutnya nilai berat jenis jenuh kering permukaan (S_s) diperoleh sebesar 2,675 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,666 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,670 g/cm³. Nilai ini sedikit lebih besar dibandingkan berat jenis kering sesuai dengan teori bahwa pada kondisi S_s pori-pori agregat telah jenuh oleh air. Kisaran ini juga sesuai dengan standar, yaitu 2,6 – 2,8 g/cm³, sehingga dapat dikatakan agregat ini memenuhi kriteria sebagai material konstruksi

Untuk berat jenis semu (S_a), hasil perhitungan menunjukkan nilai 2,721 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,714 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,718 g/cm³. Nilai ini masih dalam kisaran standar agregat normal (2,5 – 2,9 g/cm³), yang menunjukkan bahwa agregat uji mempunyai kepadatan cukup baik dan tidak tergolong sebagai agregat ringan ataupun agregat dengan porositas berlebih

Adapun untuk parameter penyerapan air (S_w), hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 1,01% pada sampel Kampung Apalapsili dan 1,07% pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 1,04%. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 maupun ASTM C127, nilai penyerapan air yang baik untuk agregat normal adalah $\leq 2\%$. Nilai yang diperoleh pada pengujian ini berada di bawah batas maksimum, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji memiliki porositas rendah, bersifat padat, dan cukup tahan terhadap serapan air. Kondisi ini sangat menguntungkan karena agregat dengan penyerapan air rendah akan lebih stabil dan awet ketika digunakan dalam campuran beton maupun perkerasan jalan aspal.

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Pasir Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
 Metode Uji : SNI 03 – 1969 – 2008

Tabel. 4.14. Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

Pengujian		I	
		A	B
Berat benda kering perm. Jenuh (SSD)	500	500,00	500,00
Berat benda uji kering oven (BK)	494,20	486,60	496,60
Berat piknometer diisi air (25°C)	B	847,90	850,1
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air (25°C)	B_t	1162,90	1158,00

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian		A	B	Rata - Rata
Berat Jenis	$G_{Bulk} = \frac{BK}{(SSD + B - Bt)}$	2,630	2,585	2,608
Berat Jenis Kering Permeabilitas Jenuh	$G_{SSD} = \frac{SSD}{(SSD + B - Bt)}$	2,703	2,602	2,653
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$G_{app} = \frac{BK}{(BK + B - Bt)}$	2,837	2,632	2,735

Penyerapan (Absorption)	$G_{abs} = \frac{SSD - BK}{BK} \times 100\%$	2,754	2,698	2,726
----------------------------	--	-------	-------	-------

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar menunjukkan bahwa nilai berat jenis bulk (G_{Bulk}) adalah 2,630 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,585 pada sampel B, dengan rata-rata 2,608. Nilai ini berada dalam kisaran standar SNI 03-1969-1990 maupun ASTM C127, yaitu 2,5–3,0 g/cm³, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji termasuk dalam kategori agregat normal dengan kepadatan yang baik

Selanjutnya, nilai berat jenis SSD diperoleh sebesar 2,703 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,602 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,653. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan berat jenis bulk, sesuai dengan teori bahwa pada kondisi jenuh kering permukaan pori-pori agregat telah terisi air. Hasil rata-rata ini juga masih berada dalam kisaran standar 2,6–2,8 g/cm³, sehingga agregat dinyatakan layak digunakan sebagai material konstruksi

Untuk berat jenis semu hasil pengujian menunjukkan 2,837 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,632 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,735. Nilai ini masih sesuai dengan standar agregat normal (2,5–2,9 g/cm³), yang menunjukkan bahwa agregat memiliki kepadatan yang baik dan tidak tergolong agregat ringan maupun agregat berpori tinggi

Hasil pengujian penyerapan air menunjukkan nilai 2,754% pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,698% pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,726%. Nilai ini lebih tinggi dari batas maksimum penyerapan air untuk agregat normal menurut SNI 03-1974-1990 maupun ASTM C127, yaitu $\leq 2\%$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji memiliki porositas relatif tinggi sehingga lebih mudah menyerap air. Kondisi ini perlu diperhatikan karena agregat dengan penyerapan air tinggi dapat memengaruhi kebutuhan air dalam campuran beton maupun kestabilan lapisan pada perkerasan aspal.

Jenis Contoh Uji : Agregat Halus Abu Batu Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

Metode Uji : SNI 03 – 1969 – 2008

Tabel. 4.15. Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

Pengujian		I	
		A	B
Berat benda kering perm. Jenuh (SSD)	500	500,00	500,00
Berat benda uji kering oven (BK)	BK	492,30	492,70
Berat piknometer diisi air (25°C)	B	847,90	864,7
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air (25°C)	B _t	1160,10	1177,60

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pengujian		A	B	Rata - Rata
Berat Jenis	$G_{Bulk} = \frac{BK}{(SSD + B - Bt)}$	2,621	2,634	2,628
Berat Jenis Kering Permeabilitas Jenuh	$G_{ssd} = \frac{SSD}{(SSD + B - Bt)}$	2,663	2,672	2,668
Berat Jenis Semu (Apparent)	$G_{app} = \frac{BK}{(BK + B - Bt)}$	2,734	2,739	2,737
Penyerapan (Absorption)	$G_{abs} = \frac{SSD - BK}{BK} \times 100\%$	1,56	1,48	1,52

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat menunjukkan bahwa nilai berat jenis bulk adalah 2,621 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,634 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,628. Nilai ini sesuai dengan standar SNI 1969:2008 maupun ASTM C127, di mana agregat normal umumnya memiliki berat jenis dalam kisaran 2,5–3,0 g/cm³. Hal ini menandakan bahwa agregat yang diuji termasuk ke dalam kategori agregat normal dengan tingkat kepadatan yang baik

Selanjutnya nilai berat jenis SSD diperoleh sebesar 2,663 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,672 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,668. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan berat jenis bulk, sesuai teori bahwa pada kondisi SSD pori-pori agregat telah terisi air sepenuhnya. Hasil ini juga masih berada dalam kisaran standar

(2,6–2,8 g/cm³), sehingga dapat dikatakan bahwa agregat tersebut memenuhi syarat sebagai bahan konstruksi.

Untuk berat jenis semu hasil perhitungan menunjukkan 2,734 pada sampel Kampung Apalapsili dan 2,739 pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 2,737. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat memiliki kepadatan yang cukup tinggi dan masih berada dalam kisaran normal 2,5–2,9 g/cm³. Dengan demikian agregat yang diuji dapat dikategorikan sebagai agregat normal bukan agregat ringan maupun agregat berpori berlebih

Nilai penyerapan air menunjukkan hasil 1,56% pada sampel A dan 1,48% pada sampel Kampung Habie, dengan rata-rata 1,52%. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 dan ASTM C127, nilai penyerapan air agregat normal yang baik adalah $\leq 2\%$. Hasil pengujian ini berada di bawah batas maksimum sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat memiliki porositas rendah, cukup padat, dan lebih tahan terhadap serapan air. Kondisi ini menguntungkan karena agregat dengan penyerapan air rendah cenderung lebih stabil dalam campuran beton maupun perkerasan jalan aspal.

4.2.3. Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles (*Los Angeles Abrasion Test*) dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan atau pengikisan akibat gesekan dan tumbukan. Ketahanan agregat terhadap keausan sangat penting karena agregat merupakan komponen utama dalam campuran beton maupun perkerasan jalan yang akan menerima beban lalu lintas secara terus-menerus. Menurut SNI 03-2417-1991 maupun spesifikasi teknis Bina Marga, nilai keausan maksimum yang diizinkan umumnya adalah 40% untuk lapis aus (*surface course*) dan 50% untuk lapisan di bawahnya (*base* atau *subbase*) dengan demikian semakin rendah nilai keausan agregat maka semakin baik kualitas agregat tersebut untuk digunakan dalam campuran perkerasan jalan

Jenis Contoh Uji : Agregat Kasar Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)
Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Metode Uji : SNI 03 – 2417 - 2008

**Tabel. 4.16. Hasil Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles
Kampung Apalapsili dan Kampung Habie**

Gradasi Pemeriksaan		Jumlah Putaran = 500 Putaran	
Ukuran Saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (a)
76,2 (3")	63,5 (2 ½")		
63,5 (2 ½")	50,8 (2")		
50,8 (2")	36,1 (1 ½")		
36,1 (1 ½")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (¾")		
19,1 (¾")	12,7 (½")	2500	
12,7 (½")	9,52 (⅜")	2500	
9,52 (⅜")	6,35 (¼")		
6,35 (¼")	4,75 (No. 4)		
4,75 (No. 4)	2,36 (No. 8)		
Jumlah Berat		5000	
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (b)		3750,00	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian keausan sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie sebagai berikut

Hasil pengujian keausan agregat dengan Mesin Los Angeles yaitu

Berat awal (a) = 5000 gram

Berat tertahan saringan No.12 setelah percobaan (b) = 3750,00 gram

Jumlah putaran = 500 putaran

Berat yang hilang = $a - b = 5000 - 3750 = 1250$ gram

Presentase Keausan

$$\text{Keausan I} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

$$\text{Keausan I} = \frac{5000 - 3750}{5000} \times 100\% = 25\%$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah dilakukan pemutaran berat agregat yang tertahan pada saringan No. 12 adalah 3750,00 gram. Dengan demikian berat agregat yang hilang akibat proses abrasi sebesar 1250 gram. Nilai keausan sebesar 25% ini menunjukkan bahwa agregat yang diuji memiliki tingkat ketahanan aus yang baik. Jika dibandingkan dengan ketentuan standar yaitu maksimum 30–40% untuk lapis aus dan 40–50% untuk lapis pondasi (SNI 2417:2008 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018), maka nilai keausan yang diperoleh masih berada jauh di bawah batas maksimum yang diperbolehkan. Hal ini berarti agregat yang diuji memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran perkerasan jalan baik sebagai lapis permukaan maupun sebagai lapis pondasi.

4.2.4. Mengandung Plastis Dengan Cara Setara Pasir

Pengujian kadar bahan plastis dengan metode Setara Pasir (*Sand Equivalent Test*) dilakukan untuk mengetahui kandungan butiran halus yang bersifat plastis atau lempung pada agregat halus. Kandungan butiran plastis yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas agregat karena butiran lempung cenderung menyerap air dan mengurangi daya ikat antar partikel sehingga menurunkan stabilitas dan kekuatan campuran beraspal. Oleh karena itu pengujian ini sangat penting untuk menilai kelayakan agregat halus sebelum digunakan dalam campuran perkerasan jalan. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan terhadap dua sampel agregat halus yang berasal dari dua lokasi berbeda di Distrik Elelim, Kabupaten Yalimo yaitu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Metode Setara Pasir (SE) ini didasarkan pada prinsip pemisahan antara butiran halus plastis dengan butiran pasir menggunakan larutan kimia khusus setelah dilakukan pengendapan dalam tabung uji, diperoleh dua kolom endapan, yaitu kolom pasir di bagian bawah dan kolom lumpur atau bahan halus di bagian atas. Nilai Setara Pasir (SE) dihitung dari perbandingan antara tinggi kolom pasir dengan jumlah tinggi kolom pasir dan tinggi kolom lumpur, yang kemudian dinyatakan dalam satuan persen (%). Pengujian ini mengacu pada standar SNI 03-4428-1997 atau ASTM D2419, dengan ketentuan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 bahwa nilai SE minimum yang diperbolehkan untuk agregat halus pada campuran beraspal adalah $\geq 50\%$. Nilai Setara Pasir yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kandungan butiran halus plastis semakin sedikit, sehingga agregat memiliki kualitas yang lebih baik dan lebih stabil terhadap perubahan kadar air

Tabel. 4.17. Hasil Pengujian Setara Pasir Agregat Halus Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

No	Uraian Kerja	Percobaan Ke		Keterangan
		Kampung Apalapsili	Kampung Habie	
1	Tera tinggi tangkai penunjuk beban ke dalam gelas ukur (gelas dalam keadaan kering)	10,30	10,30	
2	Baca skala lumpur (pembacaan skala permukaan lumpur lihat pada dinding gelas ukur) (A)	4,48	4,95	
3	Masukan beban, baca skala beban pada tangkai penunjuk	14,5	14,9	
4	Baca skala pasir (pembacaan 3 – pembacaan 1) (B)	4,20	4,60	
5	Nilai setara pasir $\frac{\text{Skala pasir (4)}}{\text{Skala Lumpur (2)}} \times 100\%$	93,80	92,90	
6	Rata – rata nilai Setara Pasir	93,30		

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian setara pasir agregat halus sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie sebagai berikut

$$\text{Nilai SP} = \frac{B}{A} \times 100\%$$

Dimana:

A: skala pembacaan permukaan lumpur

B: skala pembacaan pasir

Sampel Kampung Apalapsili:

$$\text{Nilai SP} = \frac{B}{a} \times 100\%$$

$$\text{Nilai SP} = \frac{4,20}{4,48} \times 100\% = 93,80\%$$

Sampel Kampung Habie

$$\text{Nilai SP} = \frac{B}{a} \times 100\%$$

$$\text{Nilai SP} = \frac{4,60}{4,95} \times 100\% = 92,90\%$$

Rata-rata nilai Setara Pasir

$$\text{Nilai SP rata - rata} = \frac{93,80 + 92,90}{2} = 93,30\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada sampel Kampung Apalapsili, diperoleh nilai setara pasir sebesar 93,80%, pada sampel Kampung Habie, diperoleh nilai setara pasir sebesar 92,90% sehingga nilai rata-rata setara pasir dari kedua sampel adalah 93,30%. Menurut SNI 03-4428-1997 dan ASTM D2419, nilai setara pasir agregat halus untuk campuran beraspal panas disyaratkan $\geq 50\%$. Demikian pula dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai SP minimum yang dapat diterima adalah 50%. Dengan demikian, nilai rata-rata yang diperoleh (93,30%) jauh lebih tinggi dari batas minimum yang dipersyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus yang diuji memiliki kandungan butiran halus plastis (lumpur atau *clay*) yang sangat rendah sehingga kualitas agregat tergolong sangat baik. Kondisi ini menguntungkan karena agregat yang bersih akan meningkatkan daya ikat dengan aspal maupun semen serta menjaga stabilitas dan durabilitas campuran

4.2.5. Pengujian Kadar Lumpur dalam Agregat

Pengujian kadar lumpur merupakan salah satu prosedur penting dalam evaluasi kualitas agregat yang akan digunakan pada campuran perkerasan beraspal. Kadar lumpur didefinisikan sebagai persentase butiran halus berukuran lebih kecil dari 0,075 mm (lolos saringan No. 200) yang menempel atau menyelimuti butiran agregat. Keberadaan partikel halus seperti lanau (silt) dan lempung (clay) pada agregat dapat memengaruhi stabilitas dan daya ikat antarpartikel dalam campuran aspal, sehingga perlu dikendalikan dalam batas tertentu. Menurut SNI 03-4142-1996 dan ASTM C117, pengujian kadar lumpur dilakukan dengan metode pencucian (*washing test*) yaitu membilas agregat melalui saringan No. 200 untuk memisahkan butiran-butiran halus dari agregat utama. Selisih

berat sampel sebelum dan sesudah pencucian menggambarkan jumlah partikel halus yang terkandung dalam agregat.

Dalam spesifikasi teknis Bina Marga (2018) agregat yang digunakan untuk lapisan beraspal mutlak harus memiliki kadar lumpur rendah agar tidak mengganggu proses pengikatan dengan aspal. Untuk agregat kasar pada campuran HRS Base, kadar lumpur yang diperbolehkan adalah maksimum 1%, sedangkan untuk agregat halus adalah maksimum 5%.

Tabel. 4.18. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)

No	Keterangan	Simbol	Nilai (Gram)
1	Berat Contoh Awal Sebelum Dicuci	W_1	1500
2	Berat Contoh Setelah Dicuci & Dikeringkan	W_2	1488
3	Butiran Halus Yang Hilang ($W_1 - W_2$)		12

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Perhitungan Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)

$$\text{Kadar Lumpur (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Lumpur (\%)} = \frac{1500 - 1488}{1500} \times 100\% = 0,80\%$$

Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat kasar Kinang Jingkion menunjukkan nilai 0,80%. Nilai ini masih berada di bawah batas maksimum persyaratan Bina Marga 2018, yaitu $\leq 1\%$ untuk agregat kasar pada campuran HRS Base. Dengan demikian agregat kasar Kinang Jingkion dinyatakan memenuhi syarat kebersihan dan layak digunakan sebagai material penyusun campuran HRS Base dari aspek kadar lumpur

Tabel. 4.19. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)

No	Keterangan	Simbol	Nilai (Gram)
1	Berat Contoh Awal Sebelum Dicuci	W_1	1000
2	Berat Contoh Setelah Dicuci & Dikeringkan	W_2	954

3	Butiran Halus Yang Hilang ($W_1 - W_2$)		46
---	---	--	----

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Perhitungan Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)

$$\text{Kadar Lumpur (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Lumpur (\%)} = \frac{1000 - 954}{1500} \times 100\% = 4,60\%$$

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus Kinang Jingkion menghasilkan nilai sebesar 4,60%. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang mensyaratkan kadar lumpur maksimum 5% untuk agregat halus. Dengan demikian agregat halus Kinang Jingkion masih tergolong bersih dan layak digunakan dalam campuran HRS Base dari segi kandungan partikel halus.

4.2.6. Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase butiran halus (debu, lumpur, dan lempung) yang terdapat dalam agregat yaitu fraksi agregat yang dapat melewati saringan No. 200 (ukuran 0,075 mm). Kandungan butiran halus yang terlalu tinggi dapat memengaruhi kualitas agregat karena dapat mengurangi daya ikat antara agregat dengan bahan pengikat (aspal maupun semen) dan menurunkan kekuatan campuran. Oleh karena itu pengujian ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan memenuhi persyaratan teknis sesuai standar SNI 03-4142-1996 maupun Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, di mana batas maksimum kadar butiran halus yang lolos saringan No. 200 pada agregat kasar umumnya adalah maksimal 1%, sedangkan pada agregat halus adalah maksimal 5%. Untuk sampel dalam pengujian ini di ambil di Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Hasil pengujian di dapat sebagai berikut

Tabel. 4.20. Hasil Pengujian Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 Agregat Kasar Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

No	Uraian	Hasil Pengujian	
		Kampung Apalapsili	Kampung Habie
1	Berat kering contoh semula, (A) gram	550,00	530,00
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200, (B) gram	546,30	527,20
3	Persentase material lolos No. 200 $\frac{A - B}{A} \times 100 \%$	0,67	0,53
4	Hasil rata - rata	0,60	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 agregat kasar sampel *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie sebagai berikut

Sampel Kampung Apalapsili:

Berat kering contoh semula (A) = 550,00 gram

Berat sesudah pencucian (B) = 546,30 gram

Rumus:

$$\frac{\text{Berat Kering Semula (A)} - \text{Berat Sesudah Pencucian (B)}}{\text{Berat Kering Semula (A)}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Lolos No. 200} = \frac{550,00 - 546,30}{550,00} \times 100\% = 0,67\%$$

Sampel Kampung Habie:

Berat kering contoh semula (A) = 530,00 gram

Berat sesudah pencucian (B) = 527,20 gram

$$\frac{\text{Berat Kering Semula (A)} - \text{Berat Sesudah Pencucian (B)}}{\text{Berat Kering Semula (A)}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Lolos No. 200} = \frac{530,00 - 527,20}{530,00} \times 100\% = 0,53\%$$

Rata-rata agregat yang lolos saringan No. 200 Agregat Kasar

$$\text{Persentase Lolos No. 200 rata2} = \frac{0,67 - 0,53}{2} = 0,60\%$$

Berdasarkan hasil pengujian jumlah bahan yang lolos saringan No. 200, diperoleh data sebagai berikut pada sampel Kampung Apalapsili berat kering semula adalah 550,00 gram dan setelah pencucian dengan saringan No. 200 menjadi 546,30 gram sehingga persentase material yang lolos saringan No. 200 adalah 0,67%. Pada sampel Kampung Habie berat kering semula adalah 530,00 gram dan setelah pencucian menjadi 527,20 gram sehingga persentase material yang lolos saringan No. 200 adalah 0,53%. Dengan demikian, hasil rata-rata persentase material yang lolos saringan No. 200 dari kedua sampel adalah sebesar 0,60%. Jika dibandingkan dengan persyaratan menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2023), batas maksimum kadar butiran halus yang lolos saringan No. 200 untuk agregat kasar pada campuran perkerasan jalan adalah maksimum 1%, maka hasil pengujian ini menunjukkan bahwa material agregat yang diuji memenuhi persyaratan. Dengan demikian agregat yang digunakan dapat dinyatakan layak dari segi batas kadar butiran halus yang lolos saringan No. 200

4.2.7. Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat

Pengujian sifat kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat dan magnesium sulfat dilakukan untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap pengaruh pelapukan akibat siklus basah dan kering yang menyerupai kondisi nyata di lapangan. Pengujian ini penting karena dalam kondisi lapangan, agregat akan mengalami perubahan kelembapan secara berulang akibat hujan, panas, dan paparan lingkungan yang dapat menyebabkan pelarutan dan pengkristalan garam di dalam pori-pori agregat. Proses tersebut berpotensi menurunkan kekuatan dan menyebabkan agregat mudah hancur atau pecah. Dalam penelitian ini sampel agregat kasar diambil dari dua lokasi berbeda yaitu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie di Distrik Elelim, Kabupaten Yalimo. Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada ketersediaan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang banyak digunakan secara lokal sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Masing-masing sampel diambil dengan berat representatif yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pengujian laboratorium, kemudian diuji secara terpisah untuk memperoleh hasil yang menggambarkan karakteristik agregat dari tiap lokasi secara akurat

Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, di mana nilai kehilangan berat maksimum yang diizinkan adalah 12% untuk natrium sulfat dan 18% untuk magnesium sulfat. Nilai kehilangan berat yang lebih kecil menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan yang baik terhadap proses pelapukan dan perubahan iklim, sehingga layak digunakan sebagai bahan penyusun perkerasan jalan, terutama di wilayah pegunungan seperti Kabupaten Yalimo yang memiliki intensitas hujan tinggi dan variasi suhu cukup ekstrem



Tabel. 4.21. Hasil Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Gradasi Dari Contoh Dalam %	Berat Dari Masing – Masing Sebelum Di Tes	Berat Dari Masing – Masing Setelah Tes (Disaring Dengan Saringan Berikutnya Yang Lebih Kecil	Kehilangan Berat Dari Masing - Masing	% Berat Dari Bagian Yang Hilang	% Berat Rata – Rata (Dikoreksi Oleh % Yang Hilang)	Keterangan
Lolos	Tertahan	A	B	C	B - C	$(D/B) \times 100 \%$	$(A \times E) / 100$	
PENGUJIAN DARI BATU – BATU HALUS								
No. 100 (149 micron)								
No. 50 (297 micron)								
No. 30 (290 micron)								
No. 16 (1190 micron)								
No. 8 (2380 micron)								
No. 4 (4760 micron)								
3/8"								
Jumlah								

PENGUJIAN DARI BATU – BATU KASAR

2 ½"	1 ½"							
1 ½"	1"							
1"	¾"	0,00						
¾"	½"	97,70	675,50	647	28,50	4,20	4,10	
½"	⅜"	76,39	340,00	338,80	1,20	0,40	0,30	
⅜"	4	61,88	320,00	317,20	2,80	0,90	0,50	4,93
Jumlah								

Catatan:

1. Untuk yang halus diperlukan contoh untuk tiap fraksi min. 100 gr
2. Untuk yang kasar diperlukan contoh tiap fraksi min. sebagai berikut

Tertahan ½" = 2,000 gram

1" = 1,000 gram

¾" = 500 gram

½" = 670 gram

⅜" = 330 gram

No. 4 = 300 gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis pengujian sifat kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat dan magnesium sulfat yaitu

1. Fraksi ¾” – ½”

Berat awal (B) = 675,50 gram

Berat akhir (C) = 647,00 gram

Kehilangan Berat (ΔW)

$$(\Delta W) = B - C$$

$$(\Delta W) = 675,00 - 647,00 = 29,50 \text{ gram}$$

Persentase kehilangan berat tiap fraksi (E)

$$E = \frac{B - C}{B} \times 100\%$$

$$E = \frac{675,50 - 647,00}{675,50} \times 100\% = 4,20\%$$

Persentase Kehilangan Terkoreksi (F)

$$F = \frac{A \times E}{100}$$

$$F = \frac{97,70 \times 4,20}{100} = 4,10\%$$

2. Fraksi ½” – 3/8”

Berat awal (B) = 340,00 gram

Berat akhir (C) = 338,80 gram

Kehilangan Berat (ΔW)

$$(\Delta W) = B - C$$

$$(\Delta W) = 340,00 - 338,80 = 1,20 \text{ gram}$$

Persentase kehilangan berat tiap fraksi (E)

$$E = \frac{B - C}{B} \times 100\%$$

$$E = \frac{340,00 - 338,80}{340,00} \times 100\% = 0,4\%$$

Persentase Kehilangan Terkoreksi (F)

$$F = \frac{A \times E}{100}$$

$$F = \frac{76,39 \times 0,40}{100} = 0,30\%$$

3. Fraksi 3/8” – No. 4

Berat awal (B) = 320,00 gram

Berat akhir (C) = 317,20 gram

Kehilangan Berat (ΔW)

$$(\Delta W) = B - C$$

$$(\Delta W) = 320,00 - 317,20 = 2,80 \text{ gram}$$

Persentase kehilangan berat tiap fraksi (E)

$$E = \frac{B - C}{B} \times 100\%$$

$$E = \frac{320,00 - 317,20}{320,00} \times 100\% = 0,90\%$$

Persentase Kehilangan Terkoreksi (F)

$$F = \frac{A \times E}{100}$$

$$F = \frac{61,88 \times 0,90}{100} = 0,50\%$$

4. Jumlah Kehilangan Berat Agregat (*Total Loss*)

Total Kehilangan = $\sum F$

$$\text{Total kehilangan terkoreksi} = 4,10 + 0,30 + 0,50 = 4,93\%$$

Pengujian sifat kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap proses pelapukan akibat siklus perendaman dan pengeringan dalam larutan kimia. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada fraksi agregat ukuran 3/4”–1/2” terjadi kehilangan berat sebesar 28,50 gram atau 4,22% dari berat awal dengan nilai terkoreksi terhadap persentase gradasi sebesar 4,12%. Pada fraksi 1/2”–3/8” kehilangan berat tercatat 1,20 gram atau 0,35% dengan kehilangan terkoreksi sebesar

0,27%. Sementara itu pada fraksi 3/8”-No.4 kehilangan berat sebesar 2,80 gram atau 0,88% dengan kehilangan terkoreksi sebesar 0,54%.

Jika dijumlahkan total kehilangan berat rata-rata terkoreksi dari seluruh fraksi adalah sebesar 4,93%. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan batas maksimum yang ditetapkan dalam standar. Berdasarkan SNI 03-2417-1991 serta acuan internasional seperti ASTM C88, agregat dinyatakan memenuhi syarat apabila kehilangan berat maksimum akibat larutan natrium sulfat tidak melebihi 12%, dan untuk larutan magnesium sulfat tidak melebihi 18%. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat yang diuji memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap pengaruh larutan sulfat tidak mudah hancur serta layak digunakan sebagai material konstruksi khususnya untuk perkerasan jalan maupun beton karena mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya dalam kondisi lingkungan yang agresif.

4.2.8. Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Aspal

Uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan aspal dalam menyelimuti permukaan agregat serta ketahanan ikatan antara aspal dan agregat terhadap pengaruh air. Pengujian ini sangat penting dilakukan karena dalam kondisi lapangan campuran aspal sering terpapar oleh air hujan, kelembapan udara, dan perubahan suhu, yang dapat menyebabkan terjadinya pengelupasan (*stripping*) lapisan aspal dari permukaan agregat. Jika hal tersebut terjadi maka daya lekat (*adhesi*) antara aspal dan agregat akan berkurang secara signifikan sehingga berpotensi menurunkan kekuatan, stabilitas, dan umur layan perkerasan jalan. Dalam penelitian ini sampel agregat kasar diambil dari dua lokasi berbeda yaitu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie yang terletak di Distrik Elelim, Kabupaten Yalimo, Provinsi Papua Pegunungan. Kedua lokasi ini dipilih karena memiliki sumber material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) yang umum digunakan oleh masyarakat setempat sebagai bahan konstruksi jalan lokal. Pengambilan sampel dilakukan secara hati-hati untuk memastikan bahwa agregat yang diuji benar-benar mewakili kondisi alami material di lapangan. Masing-masing sampel diberi kode Sampel Kampung Apalapsili dan Sampel Kampung Habie sebelum dilakukan proses pengujian di laboratorium

Berdasarkan ketentuan spesifikasi hasil uji dinyatakan baik apabila minimal 95% permukaan agregat tetap terselimuti oleh lapisan aspal dan tidak menunjukkan gejala

pengelupasan yang signifikan. Nilai di bawah batas tersebut mengindikasikan bahwa ikatan antara aspal dan agregat tidak cukup kuat, sehingga material berisiko mengalami kerusakan dini seperti raveling atau pemisahan butiran pada lapisan perkerasan.

Tabel 4.22. Hasil Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Kasar Aspal

Uraian	Hasil Pengamatan	
	I	II
Luas permukaan benda uji yang masih terselimuti aspal sesudah perendaman selama 16 – 18 jam (%)	95 +	95 +
Hasil rata - rata	95 +	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis pengujian penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal pada sampel Kampung Apalapsili dan Kampung Habie yaitu

Sampel Kampung Apalapsili 95+ % (luas permukaan yang masih terselimuti aspal setelah perendaman)

Sampel Kampung Habie 95+ %

$$\text{Rata - rata} = \frac{95,00 \times 95,00}{2} = 95,00\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{95,00 \times 95,00}{2} = 95,00\%$$

Berdasarkan hasil pengamatan pada uji penyelimutan dan pengelupasan, diperoleh bahwa luas permukaan agregat yang masih terselimuti aspal setelah perendaman selama 16–18 jam adalah lebih dari 95% pada kedua sampel (Kampung Apalapsili dan Kampung Habie). Rata-rata hasil pengujian juga menunjukkan angka 95%+, yang berarti hampir seluruh permukaan agregat tetap tertutup oleh lapisan aspal meskipun sudah mengalami perendaman. Apabila dibandingkan dengan persyaratan standar SNI 06-2439-1991 maupun ASTM D1664, syarat minimum persentase penyelimutan agregat oleh aspal adalah $\geq 95\%$. Dengan demikian hasil pengujian ini memenuhi standar yang berlaku karena nilai yang diperoleh sama dengan atau bahkan lebih tinggi dari batas minimal. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan antara agregat dan aspal pada campuran yang diuji tergolong baik dan stabil terhadap pengaruh air. Dengan daya lekat yang tinggi campuran

ini diharapkan mampu memberikan kinerja perkerasan jalan yang lebih tahan lama terutama dalam kondisi iklim tropis dengan curah hujan tinggi seperti di Papua

4.2.9. Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong

Bentuk butiran agregat merupakan salah satu faktor penting yang sangat memengaruhi kualitas, kekuatan, dan daya tahan perkerasan jalan. Agregat dengan bentuk kubikal atau mendekati bulat umumnya lebih disukai karena memiliki kemampuan saling mengunci (*interlocking*) yang baik menghasilkan kepadatan tinggi, serta memperkuat ikatan antara agregat dan aspal. Hal ini berdampak positif terhadap stabilitas campuran dan ketahanan terhadap beban lalu lintas berulang. Sebaliknya, agregat yang memiliki bentuk pipih (*flat*) atau lonjong (*elongated*) cenderung menurunkan kualitas campuran karena butiran sulit saling mengikat dengan sempurna, mudah patah saat pemadatan dan menimbulkan rongga udara yang lebih besar dalam campuran aspal

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dan SNI 03-4800-1998 tentang Metode Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan Agregat Kasar, agregat yang digunakan dalam campuran beraspal sebaiknya memiliki nilai indeks kepipihan dan kelonjongan yang tidak melebihi 25%. Batas ini ditetapkan agar proporsi agregat berbentuk pipih dan lonjong tidak terlalu tinggi sehingga tidak mengganggu struktur dan stabilitas campuran. Oleh karena itu pengendalian bentuk butiran agregat sejak tahap pemilihan material menjadi sangat penting agar perkerasan jalan yang dihasilkan memiliki kepadatan optimal, stabilitas tinggi, serta umur layan yang lebih panjang

Tabel. 4.23. Hasil Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong

Ukuran saringan	Gradasi agregat	% tertahan	Berat tertahan	Jumlah butir setelah pengurangan > 10%	Butir yang pipih dan lonjong (F_{e_i})		Butir yang tidak pipih dan lonjong ($N_{f_{e_i}}$)	
		(p_i)	(W_i) gram	butir	Butir	%	Butir	%
a	b	c	$d = c \times wt / p_i$	e	f	$g = f/e \times 100$	h	$i = h/e \times 100$
1"	100,00							
3/4"	98,99							
1/2"	28,26	70,73	692,6	100	3	3	97	97,00
3/8"	16,22	12,04	117,9	100	2	2	98	98,00
Total % tertahan ($p_t = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$) = 82,77%					Rata – rata (%) = 2,90		Rata – rata (%) = 97,10	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Hasil analisis pengujian partikel pipih dan lonjong sebagai berikut

1. Saringan ½”

% tertahan (Pi) = 70,73%

Jumlah contoh (Ei) = 100 butir

Butir pipih/lonjong (Fei) = 3 butir

$$\% \text{Pipih/lonjong} = \frac{\text{Jumlah butir pipih lonjong (Fei)}}{\text{Jumlah butir contoh (Ei)}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pipih/lonjong} = \frac{3}{100} \times 100\% = 3,00\%$$

2. Saringan 3/8”

% tertahan (Pi) = 12,04%

Jumlah contoh (Ei) = 100 butir

Butir pipih/lonjong (Fei) = 2 butir

$$\% \text{Pipih/lonjong} = \frac{\text{Jumlah butir pipih lonjong (Fei)}}{\text{Jumlah butir contoh (Ei)}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pipih/lonjong} = \frac{2}{100} \times 100\% = 2,00\%$$

Perhitungan rata-rata berbobot

$$\text{Total \% tertahan (Pt)} = 70,73 + 12,04 = 82,77\%$$

$$\% \text{ pipih lonjong rata2} = \frac{\% \text{ butir tertahan pada saringan ke } - i (Pi)}{\text{Jumlah \% butir tertahan total (Pt)}} \times 100\%$$

$$\% \text{ pipih lonjong rata2} = \frac{(70,73 \times 3,00) + (12,04 \times 2,00)}{82,77}$$

$$\% \text{ pipih lonjong rata2} = \frac{212,19 + 24,08}{82,77} = 2,9\%$$

Pengujian partikel pipih dan lonjong dilakukan untuk mengetahui sejauh mana agregat yang digunakan memiliki bentuk butiran normal atau tidak normal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada saringan ukuran ½ inci, dari 100 butir contoh terdapat 3 butir berbentuk pipih atau lonjong dengan persentase sebesar 3,00%. Sedangkan pada saringan ukuran 3/8 inci dari 100 butir contoh terdapat 2 butir berbentuk pipih atau lonjong dengan persentase sebesar 2,00%. Setelah dilakukan perhitungan rata-

rata berbobot berdasarkan distribusi gradasi diperoleh persentase rata-rata butiran pipih dan lonjong sebesar 2,90%, sedangkan sisanya sebesar 97,10% merupakan butiran normal. Apabila dibandingkan dengan persyaratan menurut SNI 03-4142-1996 maupun standar internasional ASTM D4791, jumlah partikel pipih dan lonjong pada agregat untuk perkerasan jalan tidak boleh melebihi 25% dari total butiran. Dengan hasil pengujian sebesar 2,90%, maka agregat yang diuji masih jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan standar, sehingga dapat dinyatakan memenuhi persyaratan. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang digunakan dominan berbentuk normal atau kubikal sehingga berpotensi menghasilkan campuran beraspal yang padat, stabil, dan memiliki daya tahan yang baik.

4.2.10. Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion)

Pengujian berat jenis bulk agregat gabungan dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata berat jenis dari campuran beberapa fraksi agregat sesuai proporsinya. Nilai ini sangat penting karena akan digunakan dalam perhitungan kebutuhan aspal, rongga udara, serta kepadatan campuran beraspal panas. Dalam penelitian ini, agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) digunakan dengan beberapa fraksi, yaitu agregat kasar, sedang, abu batu, dan pasir. Masing-masing fraksi dihitung berat jenis bulk-nya, kemudian digabung sesuai proporsi sehingga diperoleh nilai berat jenis bulk gabungan yang mewakili karakteristik agregat secara keseluruhan

Tabel. 4.24. Hasil Pengujian Berat Jenis Bult Agregat Gabungan

No	Agregat	Proporsi agregat	Berat jenis Bulk agregat	Berat jenis gabungan. Bulk agregat	Berat jenis Bulk agregat gabungan rata -rata
1	BT 1-2	20,00%	2,718	7,36	2,701
2	BT 0,5 – 1	20,00%	2,643	7,57	
3	Abu Batu	48,00%	2,627	18,27	
4	Pasir	10,00%	2,608	3,83	
5	Filter	2,00%			
		100,00 %		37,03	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Hasil analisis pengujian berat jenis bult agregat gabungan sebagai berikut

Rumus:

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{\text{Proporsi agregat}}{Bj \text{ bulk agregat}}$$

Agregat BT 1-2

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{20,00}{2,718} = 7,36$$

Agregat BT 0,5 -1

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{20,00}{2,643} = 7,57$$

Agregat Abu Batu

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{48,00}{2,627} = 18,27$$

Agregat Pasir

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{10,00}{2,608} = 3,83$$

Bj Bulk Gabungan

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{100,00}{37,03} = 2,701$$

Berdasarkan hasil perhitungan laboratorium diperoleh data sebagai berikut agregat kasar BT 1–2 dengan proporsi 20% memiliki berat jenis bulk 2,718 dan memberikan kontribusi sebesar 7,36, agregat kasar BT 0,5–1 dengan proporsi 20% memiliki berat jenis bulk 2,643 dengan kontribusi 7,57, abu batu dengan proporsi 48% memiliki berat jenis bulk 2,627 dengan kontribusi 18,27; sedangkan pasir dengan proporsi 10% memiliki berat jenis bulk 2,608 dengan kontribusi 3,83. Total nilai kontribusi dari keempat fraksi agregat tersebut adalah 37,03, sehingga diperoleh berat jenis bulk agregat gabungan sebesar 2,701. Jika dibandingkan dengan standar yang berlaku menurut SNI 03-1737-1989 maupun ASTM C127/C128, berat jenis agregat normal umumnya berada pada kisaran 2,5 – 3,0 gr/cm³. Dengan demikian hasil rata-rata berat jenis bulk gabungan sebesar 2,701 masih berada dalam rentang standar tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang digunakan dalam campuran termasuk dalam kategori agregat normal dengan kepadatan yang baik sehingga memenuhi syarat untuk digunakan dalam campuran aspal panas (*hot mix asphalt*).

4.2.11. Pengujian Berat Jenis Aspal Pen 60/70

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara massa aspal dengan volume aspal pada suhu tertentu. Parameter ini sangat penting karena menjadi salah satu data dasar dalam perencanaan campuran beraspal (*Job Mix Design*), khususnya untuk menghitung kadar aspal optimum serta mengevaluasi kepadatan campuran yang dihasilkan. Dalam penelitian ini digunakan aspal minyak penetrasi 60/70, yaitu jenis aspal keras yang umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi jalan di Indonesia. Aspal Pen 60/70 dipilih karena memiliki keseimbangan sifat antara kekerasan, elastisitas dan ketahanan terhadap deformasi pada suhu tinggi sehingga sesuai untuk kondisi iklim tropis dan beban lalu lintas di lapangan. Pengujian dilakukan menggunakan piknometer sesuai dengan metode SNI 06-2441-1991 tentang Cara Uji Berat Jenis Aspal dan Ter. Prosedur pengujian meliputi pemanasan aspal hingga mencapai kondisi cair, pengisian piknometer dengan aspal, serta penimbangan kombinasi piknometer berisi air dan aspal untuk mendapatkan volume aspal secara tidak langsung. Hasil pengujian berat jenis aspal ini nantinya akan dibandingkan dengan standar Bina Marga, di mana berat jenis aspal penetrasi 60/70 umumnya berada pada kisaran 1,00 – 1,05 g/ml. Nilai tersebut digunakan untuk memastikan bahwa aspal yang dipakai memenuhi syarat teknis sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal.

Tabel. 4.25. Hasil Pengujian Berat Jenis Apal Pen 60/70

Contoh dipanaskan	Mulai:	Pk	14,50	Suhu Oven
	Selesai:	Pk	15,30	
Didiamkan pada suhu ruang	Mulai:	Pk	15,30	
	Selesai:	Pk	16,10	
Direndam pada suhu 25'c	Mulai:	Pk	16,10	Suhu Waterbath: 25° c
	Selesai:	Pk	16,30	
Pemeriksaan berat jenis pada 25'c	Mulai:	Pk	16,30	
	Selesai:	Pk	16,45	
Berat Picnometer + Aspal		53,00 Gram		Gram

Berat Picnometer Kosong	19,36 Gram	Gram
Berat Aspal (a)	33,64 Gram	Gram
Berat Picnometer + Air	67,37 Gram	Gram
Berat Picnometer Kosong	19,36 Gram	Gram
Berat Air (b)	48,01 Gram	Gram
Berat Picnometer + Air + Aspal	68, 48 Gram	Gram
Berat Picnometer + Aspal	53,00 Gram	Gram
Berat Air (c)	15,48 Gram	Gram
Isi Aspal (b – c)	32,53 ml	ml
Berat jenis I = Berat Aspal / Isi Aspal	1,034 Gram/ml	
Berat jenis II = Berat Aspal / Isi Aspal		Gram/ml
Rata - Rata		1,034 Gram/ml

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian berat jenis Pen 60/70 dalam penelitian sebagai berikut

1. Berat aspal (a)

$$a = (\text{Berat piknometer} + \text{Aspal}) - (\text{Berat piknometer kosong})$$

$$a = 53,00 - 19,36 = 33,64 \text{ gram}$$

2. Berat air (b)

$$b = (\text{Berat piknometer} + \text{air}) - (\text{Berat piknometer kosong})$$

$$b = 67,37 - 19,36 = 48,01 \text{ gram}$$

3. Berat Air Setara dengan Volume Aspal (c)

$$c = (\text{Berat piknometer} + \text{air} + \text{aspal}) - (\text{Berat piknometer} + \text{aspal})$$

$$c = 68,48 - 53,00 = 15,48 \text{ gram}$$

4. Isi (volume) aspal

$$\text{Isi aspal} = \text{Berat air (b)} - \text{Berat air setara dengan volume aspal (c)}$$

$$\text{Isi aspal} = 48,01 - 15,48 = 32,53 \text{ ml}$$

5. Berat jenis aspal (p)

$$\text{Berat jenis aspal } (p) = \frac{\text{Berat aspal } (a)}{\text{Isi aspal}}$$

$$\text{Berat jenis aspal } (p) = \frac{33,64}{32,53} = 1,034 \text{ gram/ml}$$

Pengujian berat jenis aspal dilakukan untuk mengetahui nilai massa jenis aspal Pen 60/70 yang digunakan sebagai bahan pengikat pada penelitian ini. Pengujian dilakukan dengan metode piknometer sesuai SNI 06-2441-1991 pada suhu 25°C. Proses pengujian dimulai dengan memanaskan contoh aspal kemudian ditimbang bersama piknometer, dilanjutkan dengan penambahan air hingga penuh serta dilakukan beberapa kali penimbangan untuk memperoleh data berat aspal, berat air, dan volume aspal. Berdasarkan hasil perhitungan berat aspal yang diperoleh adalah sebesar 33,64 gram sedangkan volume aspal yang terukur sebesar 32,53 ml. Dari perbandingan keduanya diperoleh berat jenis aspal sebesar 1,034 gram/ml. Nilai ini masih berada dalam kisaran persyaratan menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 maupun standar internasional (ASTM D70), yaitu 1,01–1,06 gram/ml pada suhu 25°C. Dengan demikian hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal Pen 60/70 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki berat jenis yang sesuai standar sehingga layak untuk dipakai dalam pekerjaan perencanaan campuran beraspal panas (*Hot Rolled Sheet/HRS-Base*).

4.2.12. Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal

Metode pengujian ini mengacu pada SNI 03-6893-2002 atau setara dengan AASHTO. Prinsip pengujiannya adalah dengan menentukan berat benda uji kering kemudian volume total dihitung setelah udara dalam sampel dihilangkan menggunakan metode vakum. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada campuran beraspal Hot Mix HRS Base dengan material agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) sebagai salah satu fraksi agregat dan menggunakan aspal pen 60/70 sebagai bahan pengikat. Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai parameter dalam evaluasi Job Mix Design (JMD) untuk mengetahui apakah campuran memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2 di mana nilai Gmm campuran beraspal umumnya berada pada rentang 2,3 – 2,7.

Tabel. 4.26. Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal

No. Contoh		Nomor Contoh		
		I	II	Rata - Rata
Berat Picnometer + Benda Uj (gr)	A	1370,60		
Berat Picnometer (gr)	B	238,50		
Berat Benda Uji (gr)	A – B = C	1132,10		
Berat Picnometer + Air (gr)	D	1444		
Berat Picnometer + Air + Benda Uji(gr)	E	2118		
Volume Benda Uji (cc)	(C + D) – E = F	458,10		
GMM	C / F	2,47		2,47

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian berat jenis maksimum campuran beraspal sebagai berikut

1. Berat benda uji (C)

$$\text{Berat benda uji (c)} = \text{Beratpicnometer} + \text{benda uji (A)} - \text{Berat picnometer (B)}$$

$$\text{Berat benda uji (c)} = 1370,60 - 238,50 = 1132,10 \text{ Gram}$$

2. Volume benda uji (F)

$$\text{Volume benda uji (f)} = (C + D) - E$$

$$\text{Volume benda uji (f)} = (1132,10 + 1444,00) - 2118,00 = 458,10 \text{ cc}$$

3. Berat Jenis Maksimum (GMM)

$$\text{Berat jenis maksimum (GMM)} = \frac{\text{Berat benda uji (c)}}{\text{Volume benda uji (f)}}$$

$$\text{Berat jenis maksimum (GMM)} = \frac{1132,10}{458,10} = 2,47$$

Pengujian berat jenis maksimum campuran beraspal (GMM) bertujuan untuk mengetahui massa jenis teoritis campuran beraspal tanpa adanya rongga udara sehingga

hasil ini akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan parameter volumetrik campuran seperti VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), dan VFB (*Void Filled with Bitumen*). Pengujian ini mengacu pada SNI 03-6893-2002 tentang Metode Pengujian Berat Jenis Maksimum dan Kepadatan Campuran Beraspal dengan Cara Vakum. Untuk pengujian berat jenis maksimum (GMM) rata-rata campuran beraspal adalah 2,47. Nilai ini masih berada dalam kisaran berat jenis maksimum campuran aspal panas yang umumnya berkisar antara 2,30 – 2,60, tergantung pada jenis agregat dan kadar aspal yang digunakan. Dengan demikian hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran beraspal yang menggunakan material uji (termasuk agregat Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) sebagai bagian dari komposisi) memenuhi standar dan layak dijadikan dasar untuk tahap perhitungan karakteristik volumetrik pada proses perancangan campuran (*Job Mix Design*).

4.2.13. Pengujian Marshall Untuk Campuran Beraspal Panas

Pengujian Marshall dilakukan untuk menentukan karakteristik campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt) tipe HRS Base dengan metode AASHTO T 245-97 (2004). Tujuan pengujian ini adalah memperoleh kadar aspal optimum yang menghasilkan campuran dengan stabilitas, fleksibilitas, dan kepadatan terbaik. Benda uji berbentuk silinder (*briket*) dipadatkan dan diuji untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), berat jenis, rongga dalam agregat (VMA) rongga terhadap campuran (VIM), serta rongga terisi aspal (VFB). Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%, masing-masing dengan dua benda uji. Hasil pengujian berikut menjadi dasar dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran HRS Base

Tabel. 4.27. Hasil Pengujian Marshall

Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (cc)	Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
	Terhadap Berat Agregat (%)	Terhadap Berat Campuran (%)	Kering (gr)	SSD (gr)	Dalam Air (gr)						
a	b	c	d	e	f	$g = e - f$	$h = d/g$	I	$J = 100 - (h \times (100 - c)) / u$	$k = 100 - (100 \times (h/i))$	$l = 100 \times (j - k) / j$
1		4,50	1181,10	1182,50	680,70	501,80	2,354	2,508	16,80	6,20	63,30
2		4,50	1201,00	1201,90	679,00	522,90	2,297	2,508	18,80	8,40	55,10
		4,50					2,325	2,508	17,80	7,30	59,20
1		5,00	1197,50	1198,60	672,10	526,50	2,274	2,490	20,00	8,60	56,80
2		5,00	1198,00	1199,50	687,10	512,4	2,338	2,490	17,80	6,10	65,70
		5,00					2,306	2,490	18,90	7,40	61,20
1		5,50	1178,20	1178,90	675,50	503,40	2,340	2,471	18,10	5,30	70,80
2		5,50	1211,20	1212,10	688,40	523,70	2,313	2,471	19,10	6,40	66,40
		5,50					2,313	2,471	19,10	5,90	66,40
1		6,00	1194,50	1195,30	685,70	509,60	2,344	2,453	18,40	4,50	75,80
2		6,00	1197,10	1197,70	682,80	514,90	2,325	2,453	19,10	5,20	72,60
		6,00					2,334	2,453	18,70	4,80	74,20
1		6,50	1200,10	1200,90	680,10	520,80	2,304	2,435	20,20	5,40	73,40
2		6,50	1188,70	1189,30	678,90	510,40	2,329	2,435	19,40	4,40	77,40
		6,50					2,317	2,435	19,80	4,90	75,40

Stabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi Marshal	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
Bacaan pada alat	Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi				
m	n	$O = m \times n$	p	$Q = o / p$	$R = c - ((x / 100) \times (100 - c))$	s
74,00	967,90	1006,60	3,30	305,00	4,50	8,30
69,00	902,50	936,60	2,70	347,60	4,50	8,30
		972,60	3,00	326,30	4,50	8,30
70,00	915,60	952,20	3,00	317,40	5,00	9,30
93,00	1216,40	1265,00	3,20	395,30	5,00	9,30
		1108,60	3,10	356,40	5,00	9,30
90,00	1177,10	1224,20	3,30	371,00	5,50	10,30
90,00	1171,10	1224,20	3,40	360,10	5,50	10,30
		1224,20	3,40	360,10	5,50	10,30
113,00	1478,00	1611,00	3,30	488,20	6,00	11,40
75,00	981,00	1020,20	2,80	364,40	6,00	11,40
		1315,60	3,10	426,30	6,00	11,40
78,00	1020,20	1020,20	2,80	364,40	6,50	12,40
63,00	824,00	857,00	3,20	267,80	6,50	12,40
		938,60	3,00	316,10	6,50	12,40



Analisis perhitungan pengujian Marshall sebagai berikut

1. Isi Benda Uji (cc)

$$\text{Volume (cc)} = \text{Berat SSD (G)} - \text{Berat Dalam Air (g)}$$

- Kadar Aspal 4,5% - Sampel 1: Volume = 1182.50 – 680.70 = 501.80 cc
- Kadar Aspal 4,5% - Sampel 2: Volume = 1201.90 – 679.00 = 522.90 cc
- Kadar Aspal 5,0% - Sampel 1: Volume = 1198.60 – 672.10 = 526.50 cc
- Kadar Aspal 5,0% - Sampel 2: Volume = 1199.50 – 687.10 = 512.40 cc
- Kadar Aspal 5,5% — Sampel 1: Volume = 1178.90 – 675.50 = 503.40 cc
- Kadar Aspal 5,5% — Sampel 2: Volume = 1212.10 – 688.40 = 523.70 cc
- Kadar Aspal 6,0% — Sampel 1: Volume = 1195.30 – 685.70 = 509.60 cc
- Kadar Aspal 6,0% — Sampel 2: Volume = 1197.70 – 682.80 = 514.90 cc
- Kadar Aspal 6,5% — Sampel 1: Volume = 1200.90 – 680.10 = 520.80 cc
- Kadar Aspal 6,5% — Sampel 2: Volume = 1189.30 – 678.90 = 510.40 cc

2. Kepadatan (Gmb)

$$\text{Kepadatan (Gmb)} = \frac{\text{Berat Kering (d)}}{\text{Isi Benda Uji (cc)}}$$

$$\text{Kadar Aspal 4,5\% Sampel 1} = \frac{1181,10}{501,80} = 2,354$$

$$\text{Kadar Aspal 4,5\% Sampel 2} = \frac{1201,00}{522,90} = 2,297$$

$$\text{Kadar Aspal 5,0\% Sampel 1} = \frac{1197,50}{526,50} = 2,274$$

$$\text{Kadar Aspal 5,0\% Sampel 2} = \frac{1198,00}{512,4} = 2,338$$

$$\text{Kadar Aspal 5,5\% Sampel 1} = \frac{1178,20}{503,40} = 2,340$$

$$\text{Kadar Aspal 5,5\% Sampel 2} = \frac{1211,20}{523,70} = 2,313$$

$$\text{Kadar Aspal 6,0\% Sampel 1} = \frac{1194,50}{509,60} = 2,344$$

$$\text{Kadar Aspal 6,0\% Sampel 2} = \frac{1197,10}{514,90} = 2,325$$

$$\text{Kadar Aspal 6,5\% Sampel 1} = \frac{1200,10}{520,80} = 2,304$$

$$\text{Kadar Aspal 6,5\% Sampel 2} = \frac{1188,70}{510,40} = 2,329$$

3. Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{\text{Berat Jenis Campuran (Gmb)} \times (100 - \text{Kadar Aspal (cc)})}{100 \times \text{Berat Jenias Agregat (G)}}\right)$$

- Untuk Kadar Air 4,5%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,325 \times (100 - 4,5)}{100 \times 2,47}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{222,0375}{247,00}\right) = 17,79\%$$

- Untuk Kadar Air 5,0%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,306 \times (100 - 5,0)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{219,07}{247,00}\right) = 18,89\%$$

- Kadar Aspal 5,5%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,313 \times (100 - 5,5)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{218,579}{247,00}\right) = 19,10$$

- Kadar Aspal 6,0%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,334 \times (100 - 6,0)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{219,396}{247,00}\right) = 18,70\%$$

- Kadar Aspal 6,5%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,317 \times (100 - 6,5)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{216,64}{247,00}\right) = 19,80\%$$

4. Rongga terhadap Campuran (VIM, %)

$$VIM = \frac{\text{Berat Jenis Campuran (Gmm)} - \text{Berat Jenis Campuran (Gmb)}}{\text{Berat Jenis Campuran (Gmm)}} \times 100$$

- Kadar Aspal 4,5%

$$VIM = \frac{2,508 - 2,325}{2,508} \times 100 = 7,30\%$$

- Kadar Aspal 5,0%

$$VIM = \frac{2,490 - 2,306}{2,490} \times 100 = 7,40\%$$

- Kadar Aspal 5,5%

$$VIM = \frac{2,471 - 2,313}{2,471} \times 100 = 5,90\%$$

- Kadar Aspal 6,0%

$$VIM = \frac{2,453 - 2,334}{2,453} \times 100 = 4,80\%$$

- Kadar Aspal 6,5%

$$VIM = \frac{2,435 - 2,317}{2,435} \times 100 = 4,90\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pengujian Marshall pada campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt – HRS Base) menggunakan agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dengan variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%, diperoleh beberapa temuan penting yang menggambarkan karakteristik dan kinerja campuran tersebut.

1. Pertama hasil pengujian terhadap kepadatan campuran (Gmb) menunjukkan bahwa nilai kepadatan meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai titik maksimum pada kadar 6,0%, dengan nilai tertinggi sebesar 2,334. Setelah melewati kadar tersebut, yakni pada kadar aspal 6,5%, nilai kepadatan mengalami sedikit penurunan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa pada kadar

aspal sekitar 6,0%, campuran mencapai kadar aspal optimum (KAO), di mana struktur campuran menjadi paling rapat dan stabil

2. Kedua, rongga dalam agregat (VMA) memperlihatkan tren peningkatan dari 17,79% pada kadar aspal 4,5% menjadi 19,80% pada kadar aspal 6,5%. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi teknis yaitu lebih besar dari 15% sebagaimana ditetapkan oleh Bina Marga. Hal ini menunjukkan bahwa agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki kemampuan yang baik dalam menyediakan ruang untuk menampung aspal secara optimal tanpa menyebabkan terjadinya bleeding atau kelebihan aspal pada permukaan jalan
3. Ketiga, hasil pengujian rongga udara dalam campuran (VIM) menunjukkan adanya penurunan yang konsisten dari 7,30% pada kadar aspal 4,5% menjadi sekitar 4,80–4,90% pada kadar aspal 6,0–6,5%. Penurunan nilai VIM tersebut menandakan bahwa campuran semakin padat dan lebih rapat seiring peningkatan kadar aspal. Nilai VIM yang berada pada rentang 3–5% telah sesuai dengan standar Bina Marga, yang berarti bahwa pada kadar aspal 6,0%, campuran memiliki keseimbangan ideal antara rongga udara dan kadar aspal untuk menjamin daya tahan serta fleksibilitas lapisan perkerasan. Berdasarkan hubungan antara ketiga parameter utama yaitu kepadatan (Gmb), VMA, dan VIM, maka kadar aspal optimum (KAO) dapat ditetapkan pada 6,0%. Pada titik ini, campuran aspal menunjukkan kondisi paling ideal, di mana kepadatan mencapai nilai tertinggi, rongga dalam agregat masih memadai untuk menampung aspal, dan rongga udara berada dalam batas standar yang direkomendasikan

Secara keseluruhan, hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa agregat lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) memiliki kinerja yang sangat baik sebagai material utama dalam campuran beraspal tipe HRS Base. Campuran dengan material ini mampu memenuhi seluruh parameter uji Marshall yang dipersyaratkan, baik dari segi stabilitas, kepadatan, maupun proporsi rongga. Dengan demikian agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) berpotensi besar untuk digunakan sebagai alternatif material lokal dalam pekerjaan konstruksi dan pemeliharaan jalan di wilayah Papua, terutama di daerah pegunungan yang memiliki keterbatasan akses terhadap pasokan material konvensional

4.3. Analisis Hasil Marshall Campuran Beraspal dengan Penggabungan Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dan Quarry Kampung Harapan

Penggabungan material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dari Kabupaten Yalimo dengan material Quarry Kampung Harapan dari Kabupaten Jayapura dilakukan untuk memperoleh karakteristik campuran beraspal yang memiliki stabilitas dan durabilitas optimal. Kombinasi kedua jenis agregat ini diharapkan mampu memadukan keunggulan sifat fisik dan mekanik masing-masing sumber material, sehingga menghasilkan campuran aspal yang memenuhi standar teknis Bina Marga. Dalam penelitian ini digunakan dua sumber material agregat utama yaitu material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) yang merupakan material lokal potensial namun belum banyak dimanfaatkan secara luas serta material Quarry Kampung Harapan yang telah umum digunakan oleh kontraktor dalam pekerjaan pengaspalan di wilayah Papua. Pemilihan kedua material ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan praktis, di mana penggabungan keduanya diharapkan dapat menghasilkan campuran beraspal dengan performa yang lebih baik serta memanfaatkan potensi material lokal secara optimal. Selain dilakukan pengujian terhadap masing-masing material secara terpisah penelitian ini juga menyusun campuran gabungan antara material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dan material Quarry Kampung Harapan untuk mengetahui sejauh mana kinerja campuran aspal dapat ditingkatkan apabila keduanya digunakan secara bersamaan. Proporsi agregat disusun berdasarkan fraksi butiran yang digunakan dalam campuran aspal, meliputi batu pecah ukuran 1–2 cm, batu pecah ukuran 0,5–1 cm, abu batu, pasir, dan filler. Komposisi awal ditetapkan mengikuti proporsi standar yang lazim digunakan dalam campuran Hot Rolled Sheet (HRS-Base), yaitu 30% batu pecah 1–2 cm, 15% batu pecah 0,5–1 cm, 47% abu batu, 6% pasir, dan 2% filler.

Selanjutnya, untuk mendapatkan gambaran kinerja campuran hasil penggabungan, dilakukan penyusunan proporsi gabungan dengan perbandingan seimbang (50:50) antara material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dan material Quarry Kampung Harapan, sehingga total komposisi agregat tetap 100%. Pada sub-bab ini, pembahasan difokuskan pada hasil pengujian Marshall terhadap campuran beraspal panas (*Hot Rolled Sheet/HRS-Base*) yang menggunakan agregat gabungan tersebut. Analisis mencakup parameter utama seperti kepadatan (*bulk density*), stabilitas, flow, rongga udara dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), serta kadar aspal optimum (KAO). Hasil pengujian

ini menjadi dasar untuk menilai sejauh mana penggabungan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dengan material Kampung Harapan dapat menghasilkan campuran aspal yang stabil, padat, dan tahan terhadap beban lalu lintas serta kondisi lingkungan di wilayah pegunungan Papua.

**Tabel 4.28. Proporsi Agregat Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion)
Quarry Kampung Harapan Kabupaten Jayapura**

No	Fraksi Agregat	Proporsi (%)
1	Batu 1 – 2 cm	15,00
2	Batu 0,5 – 1	7,50
3	Abu Batu Aluvial Gravel Sand (Kinang Jinkion)	23,50
4	Pasir	3,00
5	Filter	1,00
	Total	50,00

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Pada Tabel diatas ditunjukkan proporsi agregat yang berasal dari material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion). Komposisi campuran terdiri dari 15% batu pecah berukuran 1–2 cm, 7,50% batu pecah berukuran 0,5–1 cm, 23,50% abu batu *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion), 3% pasir, dan 1% filler. Proporsi ini disusun berdasarkan distribusi gradasi agregat yang lazim digunakan pada campuran aspal panas sehingga dapat mewakili kondisi aktual di lapangan. Dengan demikian material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) diuji sebagai material tunggal untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekaniknya.

Tabel 4.29. Proporsi Agregat Material Kampung Harapan

No	Fraksi Agregat	Proporsi (%)
1	Batu 1 – 2 cm	15,00
2	Batu 0,5 – 1	7,50
3	Abu Batu Kampung Harapan	23,50
4	Pasir	3,00
5	Filter	1,00
	Total	50,00

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Tabel di atas memperlihatkan proporsi agregat yang diperoleh dari Quarry Kampung Harapan di Kabupaten Jayapura. Komposisinya disusun dengan proporsi yang sama seperti material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion), yakni 15% batu pecah 1–2 cm, 7,50% batu pecah 0,5–1 cm, 23,50% abu batu Kampung Harapan, 3% pasir, dan 1% filler. Material dari Quarry Kampung Harapan dipilih sebagai pembanding karena selama ini telah banyak digunakan kontraktor dalam pekerjaan pengaspalan di wilayah Papua sehingga menjadi representasi material standar yang umum dipakai di lapangan.

Tabel 4.30. Proporsi Gabungan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) + Kampung Harapan (Seimbang 50:50 pada Fraksi Halus)

No	Fraksi Agregat	Proporsi (%)
1	Batu 1 – 2 cm	30,00
2	Batu 0,5 – 1	15,00
3	Abu Batu <i>Aluvial Gravel Sand</i> (Kinang Jingkion)	23,50
4	Abu Batu Kampung Harapan	23,50
5	Pasir	6,00
6	Filter	2,00
	Total	100,00

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Tabel di atas menyajikan komposisi gabungan material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dan Kampung Harapan dengan perbandingan seimbang (50:50). Pada proporsi ini, abu batu dari *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dan Kampung Harapan masing-masing diberikan porsi 23,50% dari total campuran, sedangkan fraksi agregat kasar, pasir, dan filler tetap sama dengan komposisi sebelumnya, yaitu 30% batu pecah 1–2 cm, 15% batu pecah 0,5–1 cm, 6% pasir, dan 2% filler. Penyusunan proporsi gabungan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dapat berperan sebagai pengganti material dari Quarry Kampung Harapan apabila digunakan secara bersamaan dalam campuran aspal, dengan total komposisi tetap 100%.

4.3.1. Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Dengan Agregat Kampung Harapan Kabupaten Jayapura

Pengujian berat jenis bulk agregat gabungan dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata berat jenis dari campuran beberapa fraksi agregat sesuai proporsinya. Nilai ini sangat

penting karena akan digunakan dalam perhitungan kebutuhan aspal, rongga udara, serta kepadatan campuran beraspal panas. Dalam penelitian ini, agregat digunakan adalah agregat gabungan antara material dengan beberapa fraksi, yaitu agregat kasar, sedang, abu batu, dan pasir. Masing-masing fraksi dihitung berat jenis bulk-nya, kemudian digabung sesuai proporsi sehingga diperoleh nilai berat jenis bulk gabungan yang mewakili karakteristik agregat secara keseluruhan

Tabel. 4.31. Hasil Pengujian Berat Jenis Bult Agregat Gabungan

No	Agregat	Proporsi agregat	Berat jenis Bulk agregat	Berat jenis gabungan. Bulk agregat	Berat jenis Bulk agregat gabungan rata-rata
1	BT 1-2	30,00%	2,703	11,10	2,737
2	BT 0,5 – 1	15,00%	2,709	5,54	
3	Abu Batu	47,00%	2,680	17,53	
4	Pasir	6,00%	2,536	2,37	
5	Filter	2,00%			
		100%		36,53	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Hasil analisis pengujian berat jenis bult agregat gabungan *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) dengan agregat Kampung Harapan Kabupaten Jayapura sebagai berikut

Rumus:

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{\text{Proporsi agregat}}{BJ \text{ bulk agregat}}$$

Agregat BT 1-2

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{30,00}{2,703} = 11,10$$

Agregat BT 0,5 -1

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{15,00}{2,709} = 5,54$$

Agregat Abu Batu

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{47,00}{2,680} = 17,53$$

Agregat Pasir

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{6,00}{2,536} = 2,37$$

Bj Bulk Gabungan

$$Bj \text{ bulk gabungan} = \frac{100,00}{36,53} = 2,737$$

Hasil pengujian berat jenis bulk agregat gabungan menunjukkan bahwa untuk fraksi agregat batu pecah ukuran 1–2 cm diperoleh nilai 11,10, fraksi batu pecah ukuran 0,5–1 cm sebesar 5,54, fraksi abu batu sebesar 17,53, dan fraksi pasir sebesar 2,37. Setelah dijumlahkan, totalnya mencapai 36,53. Berdasarkan perhitungan berat jenis bulk agregat gabungan adalah 2,737. Nilai ini berada dalam rentang standar berat jenis agregat kasar, yaitu antara 2,5 hingga 3,0 menurut Spesifikasi Umum Bina Marga maupun standar ASTM. Dengan demikian, agregat gabungan dari material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) dan Kampung Harapan dinyatakan memenuhi persyaratan teknis dan layak digunakan sebagai bahan campuran perkerasan aspal.

4.3.2. Pengujian Berat Jenis Aspal Pen 60/70

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara massa aspal dengan volume aspal pada suhu tertentu. Parameter ini sangat penting karena menjadi salah satu data dasar dalam perencanaan campuran beraspal (*Job Mix Design*), khususnya untuk menghitung kadar aspal optimum serta mengevaluasi kepadatan campuran yang dihasilkan. Dalam penelitian ini digunakan aspal minyak penetrasi 60/70, yaitu jenis aspal keras yang umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi jalan di Indonesia. Aspal Pen 60/70 dipilih karena memiliki keseimbangan sifat antara kekerasan, elastisitas dan ketahanan terhadap deformasi pada suhu tinggi sehingga sesuai untuk kondisi iklim tropis dan beban lalu lintas di lapangan. Pengujian dilakukan menggunakan piknometer sesuai dengan metode SNI 06-2441-1991 tentang Cara Uji Berat Jenis Aspal dan Ter. Prosedur pengujian meliputi pemanasan aspal hingga mencapai kondisi cair, pengisian piknometer dengan aspal, serta penimbangan kombinasi piknometer berisi air dan aspal untuk mendapatkan volume aspal secara tidak langsung. Hasil pengujian berat jenis aspal ini nantinya akan dibandingkan dengan standar Bina Marga, di mana berat jenis aspal penetrasi 60/70 umumnya berada pada kisaran 1,00 – 1,05 g/ml. Nilai tersebut

digunakan untuk memastikan bahwa aspal yang dipakai memenuhi syarat teknis sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal.

Tabel. 4.32. Hasil Pengujian Berat Jenis Apal Pen 60/70

Contoh dipanaskan	Mulai:	Pk	14,40	Suhu Oven
	Selesai:	Pk	15,20	
Didiamkan pada suhu ruang	Mulai:	Pk	15,20	
	Selesai:	Pk	16,00	
Direndam pada suhu 25°c	Mulai:	Pk	16,00	Suhu Waterbath: 25° c
	Selesai:	Pk	16,30	
Pemeriksaan berat jenis pada 25°c	Mulai:	Pk	16,30	
	Selesai:	Pk	16,35	
Berat Picnometer + Aspal			52,00 Gram	Gram
Berat Picnometer Kosong			19,20 Gram	Gram
Berat Aspal (a)			32,80 Gram	Gram
Berat Picnometer + Air			67,35 Gram	Gram
Berat Picnometer Kosong			19,20 Gram	Gram
Berat Air (b)			48,15 Gram	Gram
Berat Picnometer + Air + Aspal			68,48 Gram	Gram
Berat Picnometer + Aspal			52,00 Gram	Gram
Berat Air (c)			16,48 Gram	Gram
Isi Aspal (b – c)			31,67 Gram	ml
Berat jenis I = Berat Aspal / Isi Aspal			1,036 Gram/MI	
Berat jenis II = Berat Aspal / Isi Aspal				Gram/ml
Rata - Rata				1,036 Gram/ml

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian berat jenis Pen 60/70 dalam penelitian sebagai berikut

1. Berat aspal (a)

$$a = (\text{Berat piknometer} + \text{Aspal}) - (\text{Berat piknometer kosong})$$

$$a = 52,00 - 19,20 = 32,80 \text{ gram}$$

2. Berat air (b)

$$b = (\text{Berat piknometer} + \text{air}) - (\text{Berat piknometer kosong})$$

$$b = 67,35 - 19,20 = 48,15 \text{ gram}$$

3. Berat Air Setara dengan Volume Aspal (c)

$$c = (\text{Berat piknometer} + \text{air} + \text{aspal}) - (\text{Berat piknometer} + \text{aspal})$$

$$c = 68,48 - 52,00 = 16,48 \text{ gram}$$

4. Isi (volume) aspal

$$\text{Isi aspal} = \text{Berat air (b)} - \text{Berat air setara dengan volume aspal (c)}$$

$$\text{Isi aspal} = 48,15 - 16,48 = 31,67 \text{ ml}$$

5. Berat jenis aspal (p)

$$\text{Berat jenis aspal (p)} = \frac{\text{Berat aspal (a)}}{\text{Isi aspal}}$$

$$\text{Berat jenis aspal (p)} = \frac{32,80}{31,67} = 1,036 \text{ gram/ml}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pengujian berat jenis aspal Pen 60/70, diperoleh bahwa berat aspal (a) adalah sebesar 32,80 gram yang didapat dari selisih antara berat piknometer berisi aspal dengan berat piknometer kosong. Selanjutnya berat air (b) yang dihitung dari selisih berat piknometer berisi air dengan piknometer kosong adalah 48,15 gram. Adapun berat air yang setara dengan volume aspal (c) sebesar 16,48 gram, yang merupakan selisih antara berat piknometer berisi air dan aspal dengan berat piknometer berisi aspal. Dari hasil tersebut diperoleh isi (volume) aspal sebesar 31,67 ml. Nilai berat jenis aspal yang diperoleh sebesar 1,036 gram/ml masih berada dalam rentang standar yang dipersyaratkan, yaitu 1,0 – 1,1 gram/ml sesuai SNI 06-2441-1991 maupun standar ASTM D70. Hal ini menunjukkan bahwa aspal Pen 60/70 yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat kualitas berat jenis sehingga dapat dijadikan bahan pengikat dalam campuran aspal.

4.3.3. Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal

Metode pengujian ini mengacu pada SNI 03-6893-2002 atau setara dengan AASHTO. Prinsip pengujiannya adalah dengan menentukan berat benda uji kering kemudian volume total dihitung setelah udara dalam sampel dihilangkan menggunakan

metode vakum. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada campuran beraspal Hot Mix HRS Base dengan material agregat *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) sebagai salah satu fraksi agregat dan menggunakan aspal pen 60/70 sebagai bahan pengikat. Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai parameter dalam evaluasi *Job Mix Design* (JMD) untuk mengetahui apakah campuran memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2 di mana nilai Gmm campuran beraspal umumnya berada pada rentang 2,3 – 2,7

Tabel. 4.33. Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal

No. Contoh		Nomor Contoh		
		I	II	Rata - Rata
Berat Picnometer + Benda Uj (gr)	A	1375,50		
Berat Picnometer (gr)	B	238,60		
Berat Benda Uji (gr)	A – B = C	1136,90		
Berat Picnometer + Air (gr)	D	1444		
Berat Picnometer + Air + Benda Uji(gr)	E	2118		
Volume Benda Uji (cc)	(C + D) – E = F	462,90		
GMM	C / F	2,46		2,46

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, Tahun 2025

Analisis perhitungan pengujian berat jenis maksimum campuran beraspal sebagai berikut

1. Berat benda uji (C)

Berat benda uji (c) = Beratpicnometer + benda uji (A) – Berat picnometer (B)

$$Berat\ benda\ uji\ (c) = 1375,50 - 238,60 = 1136,90\ Gram$$

2. Volume benda uji (F)

Volume benda uji (f) = (C + D) – E

$$Volume\ benda\ uji\ (f) = (1136,90 + 1444,00) - 2118,00 = 462,90\ cc$$

3. Berat Jenis Maksimum (GMM)

$$Berat\ jenis\ maksimum\ (GMM) = \frac{Berat\ benda\ uji\ (c)}{Volume\ benda\ uji\ (f)}$$

$$\text{Berat jenis maksimum (GMM)} = \frac{1136,90}{462,90} = 2,46$$

Hasil pengujian berat jenis maksimum (GMM) campuran beraspal menunjukkan bahwa berat benda uji diperoleh sebesar 1136,90 gram, dengan volume benda uji sebesar 462,90 cc. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai berat jenis maksimum (GMM) sebesar 2,46. Nilai ini masih berada dalam kisaran normal untuk campuran beraspal panas di mana menurut ASTM D2041 dan acuan SNI 03-6729-2002, berat jenis maksimum umumnya berkisar antara 2,40–2,65 tergantung komposisi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Dengan demikian hasil pengujian ini menunjukkan bahwa campuran beraspal dengan material yang digunakan memenuhi standar berat jenis maksimum sehingga campuran dapat dikategorikan memiliki kerapatan yang baik dan layak digunakan dalam pekerjaan perkerasan jalan

4.3.4. Pengujian Marshall Untuk Campuran Beraspal Panas

Pengujian Marshall dilakukan untuk menentukan karakteristik campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt) tipe HRS Base dengan metode AASHTO T 245-97 (2004). Tujuan pengujian ini adalah memperoleh kadar aspal optimum yang menghasilkan campuran dengan stabilitas, fleksibilitas, dan kepadatan terbaik. Benda uji berbentuk silinder (*briket*) dipadatkan dan diuji untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), berat jenis, rongga dalam agregat (VMA) rongga terhadap campuran (VIM), serta rongga terisi aspal (VFB). Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%, masing-masing dengan dua benda uji. Hasil pengujian berikut menjadi dasar dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran HRS Base

Tabel. 4.34. Hasil Pengujian Marshall

Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (cc)	Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
	Terhadap Berat Agregat (%)	Terhadap Berat Campuran (%)	Kering (gr)	SSD (gr)	Dalam Air (gr)						
a	b	c	d	e	f	$g = e - f$	$h = d/g$	$I = 100/((100-c)/+c/w$	$J = 100 - (h \times (100 - c))/u$	$k = 100 - (100 \times (h/i))$	$l = 100 \times (j - k) / j$
1		4,50	1192,40	1193,10	682,70	510,40	2,336	2,492	18,50	6,30	66,10
2		4,50	1187,50	1194,70	676,90	517,90	2,293	2,492	20,00	8,00	60,00
		4,50					2,315	2,492	19,20	7,10	63,10
1		5,00	1194,40	1194,80	688,10	506,70	2,357	2,474	18,20	4,70	74,00
2		5,00	1195,00	1198,30	691,10	507,20	2,356	2,474	18,20	4,80	73,80
		5,00					2,357	2,474	18,20	4,70	73,90
1		5,50	1193,50	1194,40	689,40	505,00	2,364	2,456	18,40	3,80	79,50
2		5,50	1203,80	1205,30	691,40	513,90	2,342	2,456	19,10	4,60	75,80
		5,50					2,342	2,456	19,10	4,20	75,80
1		6,00	1191,40	1192,00	685,80	506,20	2,354	2,438	19,20	3,50	81,90
2		6,00	1196,60	1197,00	685,60	511,40	2,340	2,438	19,60	4,00	79,50
		6,00					2,347	2,438	19,40	3,80	80,70
1		6,50	1200,00	1200,50	681,50	519,00	2,312	2,421	21,00	4,50	78,60
2		6,50	1196,40	1196,60	677,60	519,00	2,305	2,421	21,30	4,80	77,50
		6,50					2,309	2,421	21,10	4,60	78,10

Stabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi Marshal	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
Bacaan pada alat	Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi				
m	n	$O = m \times n$	p	$Q = o / p$	$R = c - ((x / 100) \times (100 - c))$	s
88,00	1150,50	1196,50	3,20	373,90	4,50	6,68
86,00	1124,30	1169,30	2,90	403,20	4,50	6,68
		1182,90	3,10	388,60	4,50	6,68
104,00	1359,70	1414,00	3,30	428,50	5,00	7,80
91,00	1189,70	1237,30	3,20	386,70	5,00	7,80
		1325,70	3,30	407,60	5,00	7,80
102,00	1333,50	1386,90	3,40	407,90	5,50	8,80
96,00	1255,10	1305,30	3,50	372,90	5,50	8,80
		1305,30	3,50	372,90	5,50	8,00
103,00	1346,60	1467,80	3,50	419,40	6,00	9,80
89,00	1163,60	1210,10	3,70	327,10	6,00	9,80
		1338,90	3,60	373,20	6,00	9,80
84,00	1098,20	1098,20	3,20	343,20	6,50	10,80
73,00	954,40	992,60	3,00	330,90	6,50	10,80
		1045,40	3,10	337,00	6,50	10,80

Analisis perhitungan pengujian Marshall sebagai berikut

1. Isi Benda Uji (cc)

$$\text{Volume (cc)} = \text{Berat SSD (G)} - \text{Berat Dalam Air (g)}$$

- Kadar Aspal 4,5% - Sampel 1: Volume = 1193.10 – 682.70 = 510.40 cc
- Kadar Aspal 4,5% - Sampel 2: Volume = 1194.70 – 676.90 = 517.80 cc
- Kadar Aspal 5,0% - Sampel 1: Volume = 1194.80 – 688.10 = 506.70 cc
- Kadar Aspal 5,0% - Sampel 2: Volume = 1198.30 – 691.10 = 507.20 cc
- Kadar Aspal 5,5% — Sampel 1: Volume = 1194.40 – 689.40 = 505.00 cc
- Kadar Aspal 5,5% — Sampel 2: Volume = 1205.30 – 691.40 = 513.90 cc
- Kadar Aspal 6,0% — Sampel 1: Volume = 1192.00 – 685.80 = 506.20 cc
- Kadar Aspal 6,0% — Sampel 2: Volume = 1197.00 – 685.60 = 511.40 cc
- Kadar Aspal 6,5% — Sampel 1: Volume = 1200.50 – 681.50 = 519.00 cc
- Kadar Aspal 6,5% — Sampel 2: Volume = 1196.60 – 677.60 = 519.00 cc

2. Kepadatan (Gmb)

$$\text{Kepadatan (Gmb)} = \frac{\text{Berat Kering (d)}}{\text{Isi Benda Uji (cc)}}$$

$$\text{Kadar Aspal 4,5\% Sampel 1} = \frac{1192,40}{501,40} = 2,336$$

$$\text{Kadar Aspal 4,5\% Sampel 2} = \frac{1187,50}{517,80} = 2,293$$

$$\text{Kadar Aspal 5,0\% Sampel 1} = \frac{1194,40}{506,70} = 2,357$$

$$\text{Kadar Aspal 5,0\% Sampel 2} = \frac{1195,00}{507,20} = 2,356$$

$$\text{Kadar Aspal 5,5\% Sampel 1} = \frac{1193,50}{505,00} = 2,364$$

$$\text{Kadar Aspal 5,5\% Sampel 2} = \frac{1203,80}{513,90} = 2,342$$

$$\text{Kadar Aspal 6,0\% Sampel 1} = \frac{1191,40}{506,20} = 2,354$$

$$\text{Kadar Aspal 6,0\% Sampel 2} = \frac{1196,60}{511,40} = 2,340$$

$$\text{Kadar Aspal 6,5\% Sampel 1} = \frac{1200,00}{519,00} = 2,312$$

$$\text{Kadar Aspal 6,5\% Sampel 2} = \frac{1196,40}{519,00} = 2,305$$

3. Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{\text{Berat Jenis Campuran (Gmb)} \times (100 - \text{Kadar Aspal (cc)})}{100 \times \text{Berat Jenias Agregat (G)}}\right)$$

- Untuk Kadar Air 4,5%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,315 \times (100 - 4,5)}{100 \times 2,47}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{221,083}{246,00}\right) = 19,20\%$$

- Untuk Kadar Air 5,0%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,357 \times (100 - 5,0)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{223,92}{246,00}\right) = 18,89\%$$

- Kadar Aspal 5,5%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,353 \times (100 - 5,5)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{222,36}{246,00}\right) = 19,10$$

- Kadar Aspal 6,0%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,347 \times (100 - 6,0)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{220,62}{246,00}\right) = 18,70\%$$

- Kadar Aspal 6,5%

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{2,309 \times (100 - 6,5)}{100 \times 2,47,00}\right)$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{215,89}{246,00}\right) = 19,80\%$$

4. Rongga terhadap Campuran (VIM, %)

$$VIM = \frac{\text{Berat Jenis Campuran (Gmm)} - \text{Berat Jenis Campuran (Gmb)}}{\text{Berat Jenis Campuran (Gmm)}} \times 100$$

- Kadar Aspal 4,5%

$$VIM = \frac{2,492 - 2,315}{2,492} \times 100 = 7,10\%$$

- Kadar Aspal 5,0%

$$VIM = \frac{2,474 - 2,357}{2,474} \times 100 = 4,73\%$$

- Kadar Aspal 5,5%

$$VIM = \frac{2,456 - 2,342}{2,456} \times 100 = 4,64\%$$

- Kadar Aspal 6,0%

$$VIM = \frac{2,438 - 2,347}{2,438} \times 100 = 3,73\%$$

- Kadar Aspal 6,5%

$$VIM = \frac{2,421 - 2,309}{2,421} \times 100 = 4,63\%$$

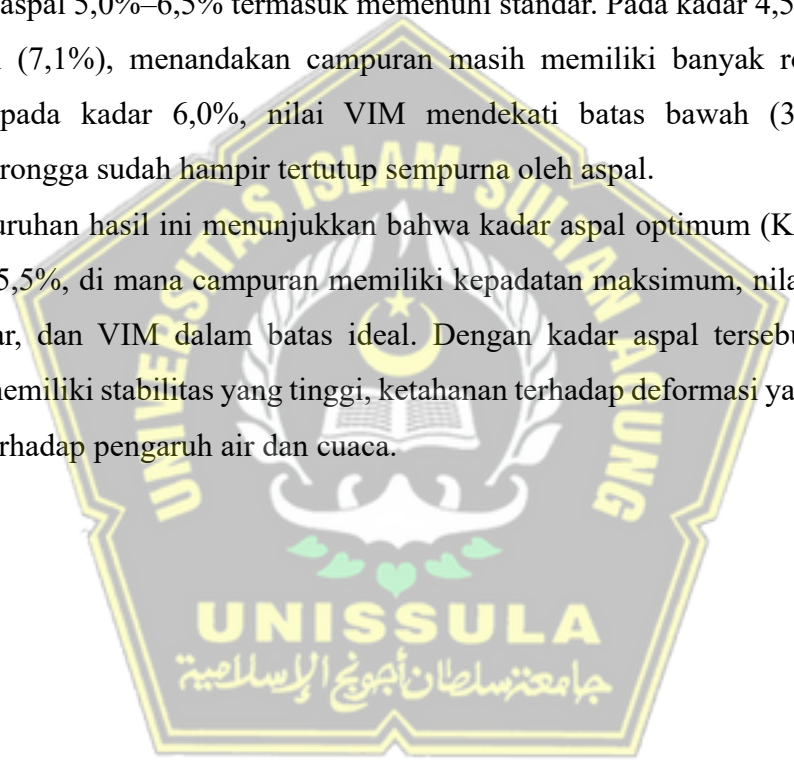
Berdasarkan hasil perhitungan laboratorium, nilai isi benda uji (volume) pada berbagai kadar aspal berkisar antara 505,0 cc hingga 519,0 cc, yang menunjukkan bahwa proses pemadatan berjalan dengan baik dan konsisten di setiap variasi kadar aspal. Semakin tinggi kadar aspal volume benda uji sedikit meningkat karena aspal mengisi rongga antar agregat, namun peningkatannya masih dalam batas wajar. Nilai kepadatan campuran (Gmb) meningkat dari kadar aspal 4,5% hingga mencapai puncak pada kadar 5,0%–5,5%, kemudian sedikit menurun pada kadar 6,0%–6,5%. Pola ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal 5,0%–5,5%, campuran mencapai kondisi paling padat dan stabil. Setelah melewati kadar tersebut, kelebihan aspal justru menyebabkan campuran menjadi

lebih longgar karena lapisan aspal yang terlalu tebal membuat agregat kurang saling mengunci.

Sementara itu nilai rongga dalam agregat (VMA) berada dalam kisaran 18,7% hingga 19,8%, yang sesuai dengan standar Bina Marga ($\geq 15\%$). Nilai VMA yang relatif stabil menunjukkan bahwa campuran memiliki keseimbangan yang baik antara jumlah aspal dan agregat dalam mengisi rongga. Kondisi ini penting agar aspal cukup melapisi agregat tanpa menyebabkan kelebihan aspal yang bisa menurunkan stabilitas.

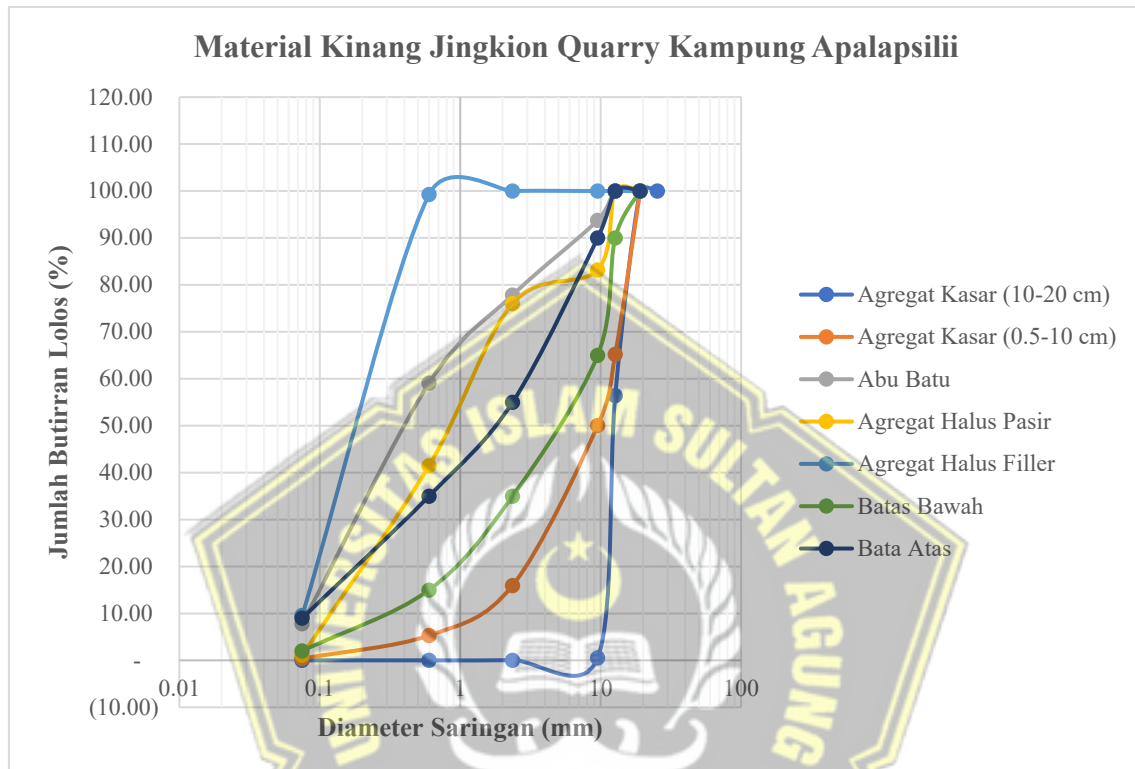
Untuk rongga terhadap campuran (VIM), hasil perhitungan menunjukkan nilai antara 3,73% hingga 7,10%. Menurut SNI 06-2489-1991, kisaran ideal VIM adalah 3–5%, yang berarti kadar aspal 5,0%–6,5% termasuk memenuhi standar. Pada kadar 4,5%, nilai VIM terlalu tinggi (7,1%), menandakan campuran masih memiliki banyak rongga udara. Sebaliknya, pada kadar 6,0%, nilai VIM mendekati batas bawah (3,73%), yang menandakan rongga sudah hampir tertutup sempurna oleh aspal.

Secara keseluruhan hasil ini menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) terdapat pada sekitar 5,5%, di mana campuran memiliki kepadatan maksimum, nilai VMA yang sesuai standar, dan VIM dalam batas ideal. Dengan kadar aspal tersebut, campuran diharapkan memiliki stabilitas yang tinggi, ketahanan terhadap deformasi yang baik, serta daya tahan terhadap pengaruh air dan cuaca.



Rekapitulasi Analisis

1. Pengujian Analisis Saringan (Gradasi Agregat Halus Dan Kasar) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
 - a. Pengujian Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili



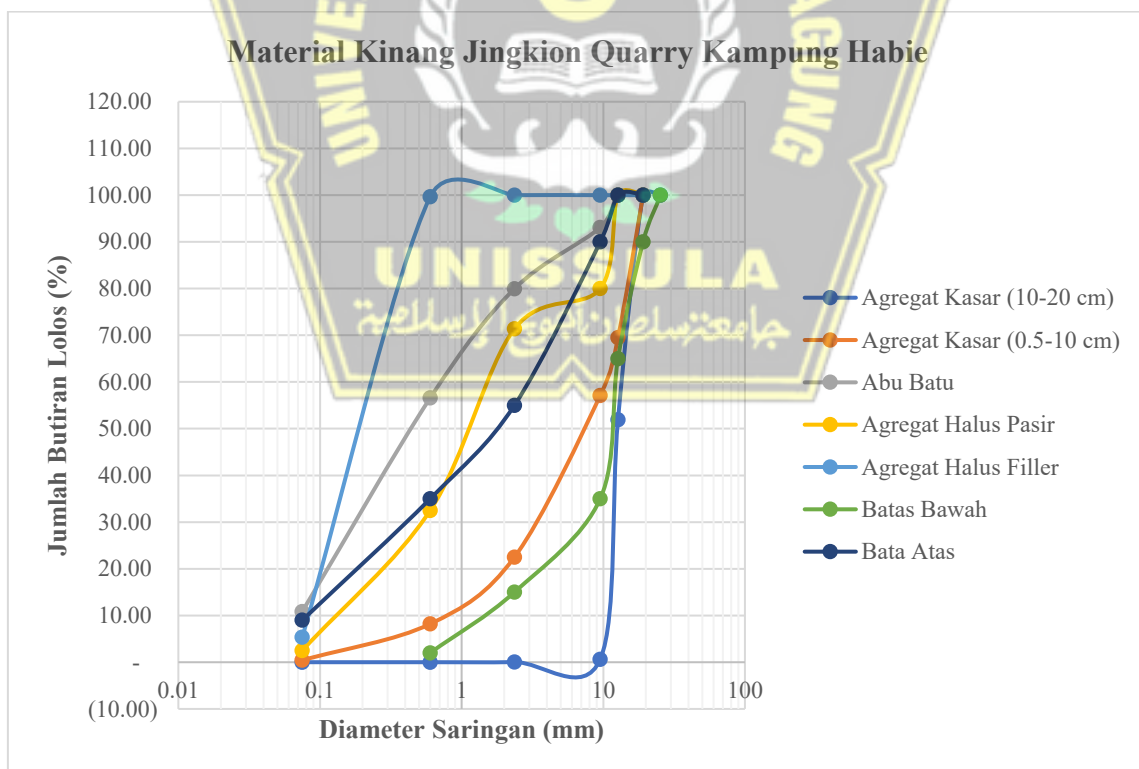
Gambar 4.13. Gradasi Agregat Quarry Kampung Apalapsili
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Grafik pada Gambar [nomor] menunjukkan hasil analisis gradasi agregat dari Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili. Sumbu horizontal merepresentasikan diameter saringan (mm) dalam skala logaritmik, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan persentase butiran lolos (%) terhadap berat total sampel. Secara umum kurva menunjukkan bahwa setiap jenis material memiliki karakteristik gradasi yang berbeda. Agregat kasar berukuran 10–20 cm memiliki distribusi butiran yang dominan pada ukuran besar, dengan persentase butiran lolos di bawah 10% untuk saringan berdiameter di bawah 10 mm. Hal ini menandakan bahwa fraksi ini tergolong agregat kasar berbutir besar yang relatif seragam. Agregat kasar berukuran 0,5–10 cm memperlihatkan peningkatan jumlah butiran lolos secara bertahap seiring dengan

mengecilnya diameter saringan, dengan nilai mencapai sekitar 90% pada saringan berukuran 20 mm. Pola ini menunjukkan bahwa material tersebut memiliki gradasi yang lebih baik dibanding agregat kasar berukuran 10–20 cm.

Sementara itu abu batu dan agregat halus (pasir) memperlihatkan kurva yang lebih landai, menandakan keberagaman ukuran partikel yang lebih besar dan distribusi butiran yang lebih merata. Agregat halus jenis filler memiliki nilai lolos hampir 100% pada diameter saringan di bawah 0,075 mm, yang mengindikasikan bahwa material tersebut sebagian besar terdiri dari partikel sangat halus. Apabila dibandingkan dengan batas bawah dan batas atas gradasi yang disyaratkan, terlihat bahwa sebagian besar fraksi agregat halus dan kasar masih berada dalam rentang spesifikasi standar. Dengan demikian material dari quarry tersebut dapat dikategorikan memiliki gradasi yang memenuhi persyaratan teknis untuk campuran perkerasan beraspal, meskipun diperlukan pengendalian proporsi tertentu agar diperoleh gradasi campuran yang optimal.

b. Pengujian Gradasi Sampel Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie

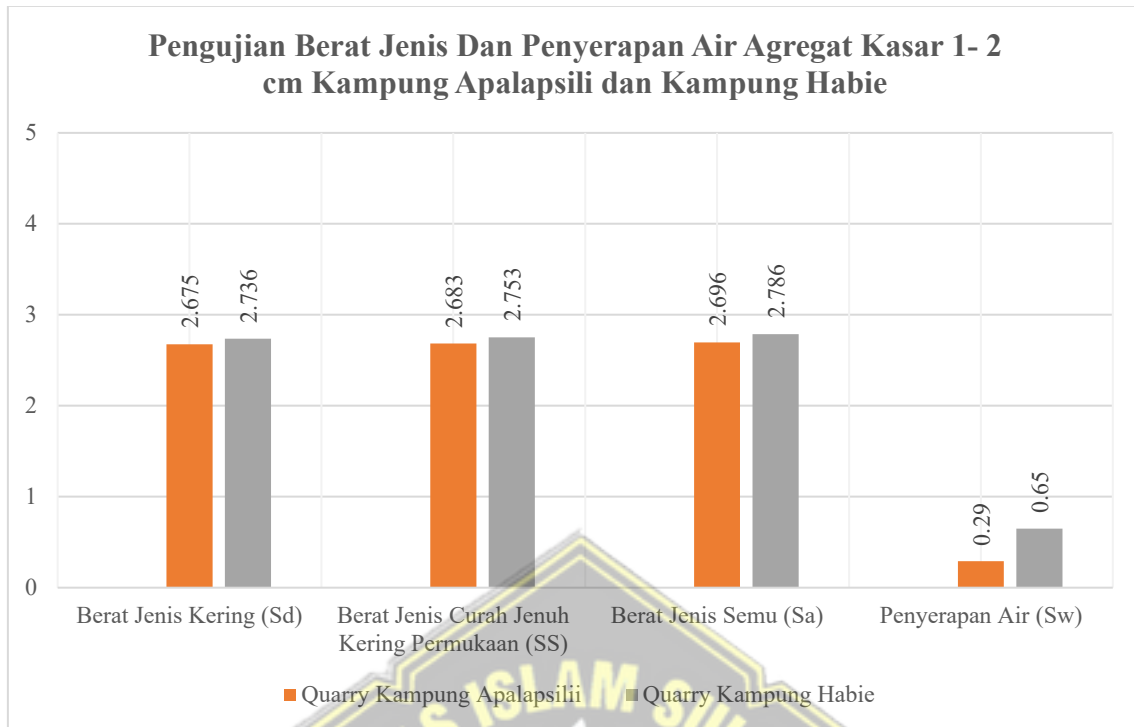


Gambar 4.14. Gradasi Agregat Quarry Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil analisis gradasi agregat yang diperoleh dari *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie. Kurva menunjukkan hubungan antara ukuran saringan dengan persentase kumulatif butiran yang lolos. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa setiap jenis material memiliki karakteristik gradasi yang berbeda sesuai dengan ukuran partikelnya. Agregat kasar berukuran 10–20 cm menunjukkan kurva yang relatif curam dengan jumlah butiran lolos di bawah 10% pada diameter saringan kurang dari 10 mm, menandakan bahwa fraksi ini terdiri atas butiran berukuran besar dan bersifat seragam. Agregat kasar berukuran 0,5–10 cm memperlihatkan peningkatan nilai lolos yang lebih bertahap dengan persentase butiran mencapai sekitar 80–90% pada saringan berdiameter 20 mm, menunjukkan bahwa agregat tersebut memiliki variasi ukuran butiran yang lebih baik dibanding fraksi sebelumnya. Sementara itu abu batu dan agregat halus pasir menunjukkan kurva yang lebih landai, yang mengindikasikan bahwa material tersebut memiliki gradasi yang lebih baik dengan sebaran ukuran butiran yang lebih merata. Agregat halus filler memiliki nilai lolos mendekati 100% pada saringan 0,075 mm, menandakan bahwa fraksi ini didominasi partikel berukuran sangat halus. Jika dibandingkan dengan batas atas dan batas bawah gradasi standar terlihat bahwa sebagian besar material dari quarry ini masih berada dalam rentang spesifikasi yang diperkenankan. Hal ini menunjukkan bahwa material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Habie berpotensi untuk digunakan sebagai bahan penyusun campuran beraspal panas, dengan catatan perlu dilakukan pengaturan proporsi antar fraksi agregat agar menghasilkan gradasi campuran yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga (2020) atau standar lain yang berlaku.

2. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

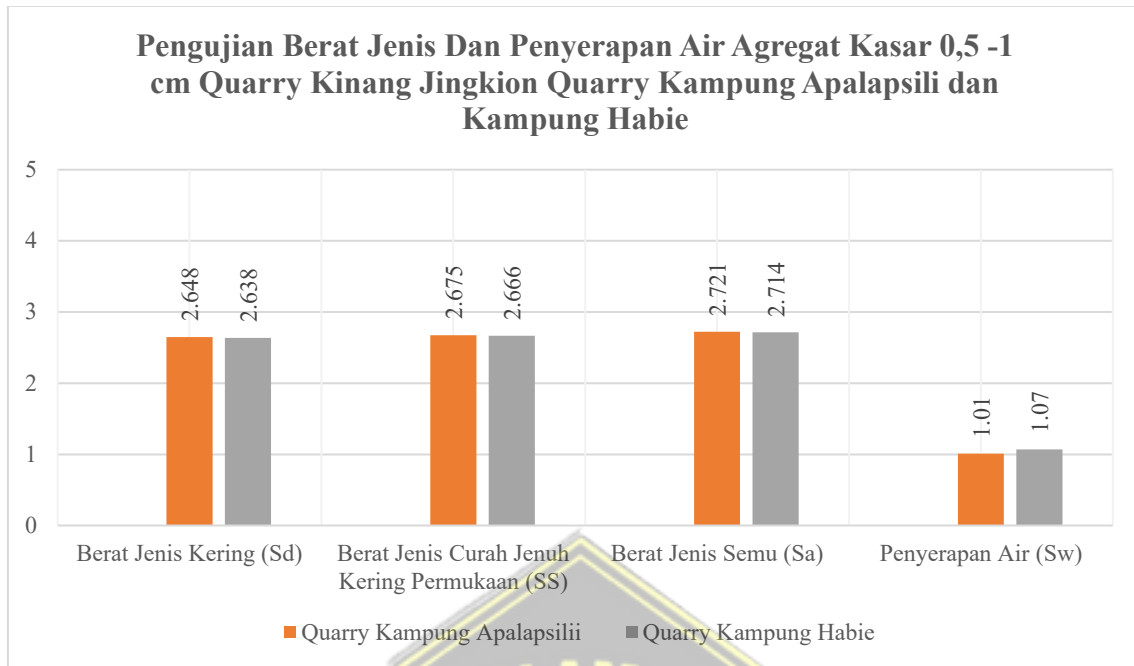
- a. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 1- 2 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie



Gambar 4.15. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 1- 2 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berukuran 1–2 cm dari Quarry Kampung Apalapsili dan Quarry Kampung Habie. Nilai berat jenis kering (Sd) untuk Apalapsili adalah 2,675, sedangkan Habie 2,736. Perbedaan kecil ini menunjukkan bahwa agregat dari Habie memiliki kerapatan mineral yang sedikit lebih tinggi. Untuk berat jenis curah jenuh kering permukaan (SS) masing-masing sebesar 2,683 dan 2,753, sedangkan berat jenis semu (Sa) adalah 2,696 dan 2,786. Nilai-nilai ini masih berada dalam kisaran yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2020, yaitu $\geq 2,5$, sehingga kedua agregat tergolong baik dari sisi densitas. Nilai penyerapan air (Sw) menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, yaitu 0,29% untuk Apalapsili dan 0,65% untuk Habie. Hal ini mengindikasikan bahwa agregat Apalapsili memiliki porositas lebih rendah dan struktur lebih padat, sehingga lebih tahan terhadap penetrasi air dan serapan aspal berlebih

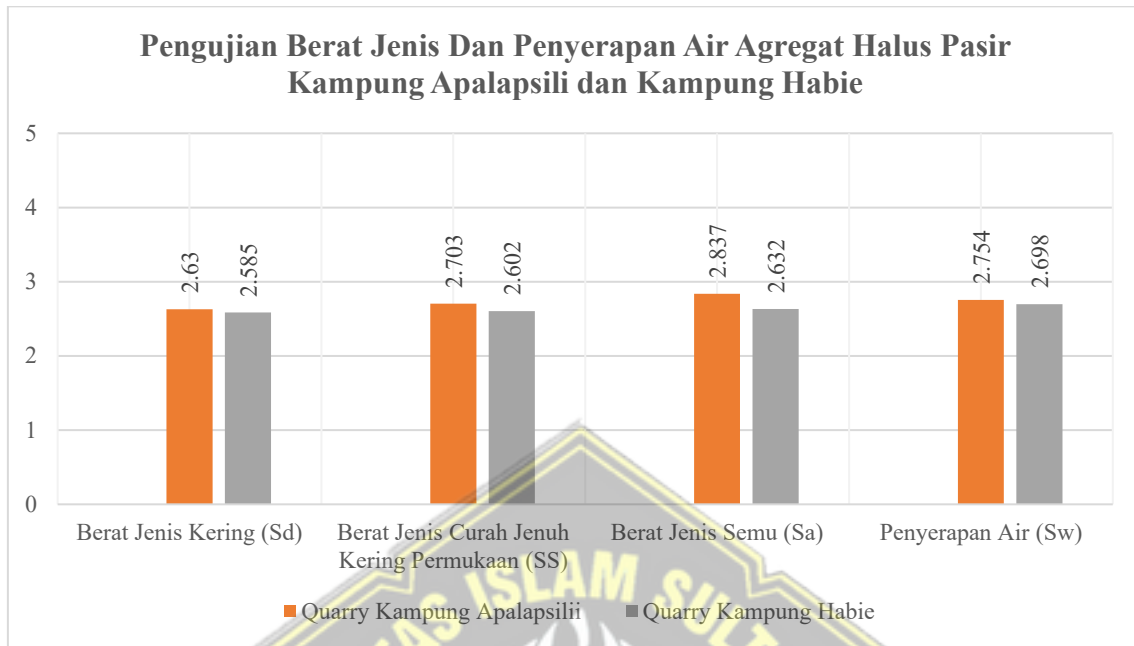
- b. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 0,5 -1 cm Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie



Gambar 4.16. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar 0,5- 1 cm Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar 0,5–1 cm dari Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Nilai berat jenis kering (Sd) untuk Apalapsili adalah 2,648, sedangkan Habie 2,638, menunjukkan bahwa kedua agregat memiliki kerapatan mineral yang hampir sama. Untuk berat jenis curah jenuh kering permukaan (SS), nilai yang diperoleh adalah 2,675 pada Apalapsili dan 2,666 pada Habie. Sementara berat jenis semu (Sa) masing-masing sebesar 2,721 dan 2,714. Seluruh nilai berat jenis berada di atas 2,5, yang berarti kedua agregat memenuhi syarat gradasi fisik sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2020. Nilai penyerapan air (Sw) sebesar 1,01% untuk Apalapsili dan 1,07% untuk Habie. Nilai ini tergolong baik karena masih berada di bawah batas maksimum 3%, menunjukkan porositas rendah dan tekstur batuan yang padat. Sedikitnya perbedaan pada nilai penyerapan air mengindikasikan bahwa kualitas fisik kedua agregat relatif sebanding, meskipun agregat dari Apalapsili sedikit lebih padat dan kurang menyerap air. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa agregat kasar 0,5–1 cm dari kedua quarry memiliki mutu yang baik dan layak digunakan dalam campuran beraspal panas, dengan agregat dari Apalapsili menunjukkan karakteristik fisik yang sedikit lebih unggul dalam hal densitas dan penyerapan air.

- c. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

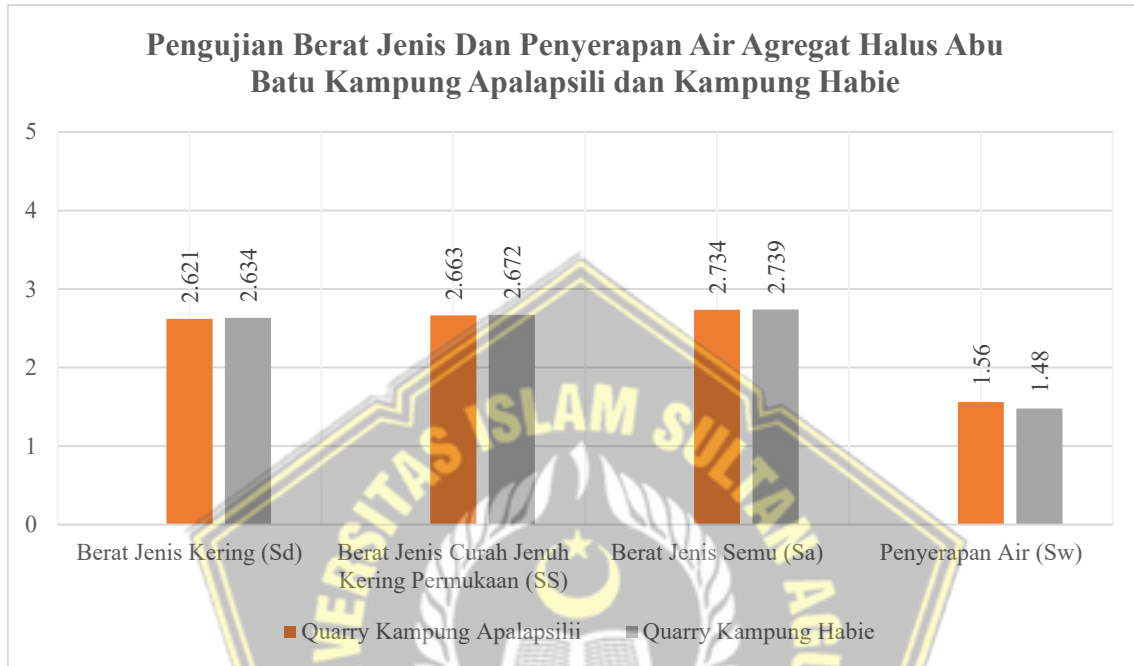


Gambar 4.17. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dari Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Nilai berat jenis kering (Sd) untuk Apalapsili sebesar 2,630, sedangkan untuk Habie 2,585, menunjukkan bahwa agregat halus dari Apalapsili memiliki densitas yang sedikit lebih tinggi. Pada berat jenis curah jenuh kering permukaan (SS), nilai yang diperoleh masing-masing adalah 2,703 untuk Apalapsili dan 2,602 untuk Habie. Sedangkan berat jenis semu (Sa) menunjukkan nilai 2,837 pada Apalapsili dan 2,632 pada Habie. Nilai-nilai tersebut masih berada dalam rentang standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 ($\geq 2,5$), sehingga kedua pasir memenuhi syarat untuk digunakan sebagai agregat halus. Nilai penyerapan air (Sw) sebesar 2,754% untuk Apalapsili dan 2,698% untuk Habie, keduanya masih di bawah batas maksimum 3%. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua material memiliki porositas rendah dan karakteristik fisik yang baik untuk digunakan dalam campuran perkerasan beraspal. Secara keseluruhan, pasir dari Quarry Kampung Apalapsili menunjukkan karakteristik fisik yang sedikit lebih baik dibandingkan pasir dari Kampung Habie, terutama dari sisi berat jenis

yang lebih tinggi yang menandakan kepadatan butiran dan kekuatan mineral yang lebih baik

- d. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie

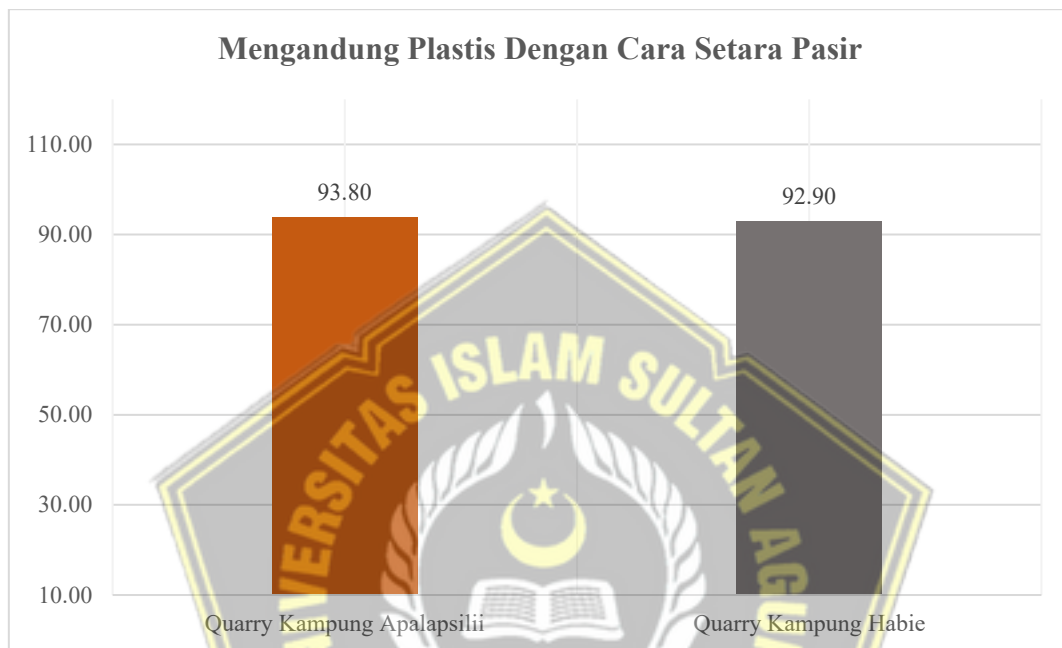


Gambar 4.18. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus abu batu dari Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Nilai berat jenis kering (Sd) untuk Apalapsili adalah 2,621, sedangkan untuk Habie 2,634, menunjukkan bahwa kedua material memiliki densitas yang hampir sama. Untuk berat jenis curah jenuh kering permukaan (SS), hasil yang diperoleh adalah 2,663 untuk Apalapsili dan 2,672 untuk Habie. Sementara berat jenis semu (Sa) masing-masing sebesar 2,734 dan 2,739. Nilai-nilai tersebut masih berada di atas standar minimum 2,5 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2020, sehingga kedua material dikategorikan memenuhi persyaratan fisik agregat halus. Nilai penyerapan air (Sw) menunjukkan sedikit perbedaan, yakni 1,56% untuk Apalapsili dan 1,48% untuk Habie. Kedua nilai tersebut masih di bawah batas maksimum 3%, yang berarti abu batu dari kedua quarry memiliki porositas rendah dan mampu menjaga stabilitas campuran beraspal. Secara umum, abu batu dari kedua lokasi memiliki

karakteristik yang sangat serupa. Namun material dari Kampung Habie sedikit lebih unggul dalam hal penyerapan air yang lebih rendah, sementara Apalapsili memiliki berat jenis semu yang sedikit lebih tinggi, menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan secara teknis.

3. Mengandung Plastis Dengan Cara Setara Pasir

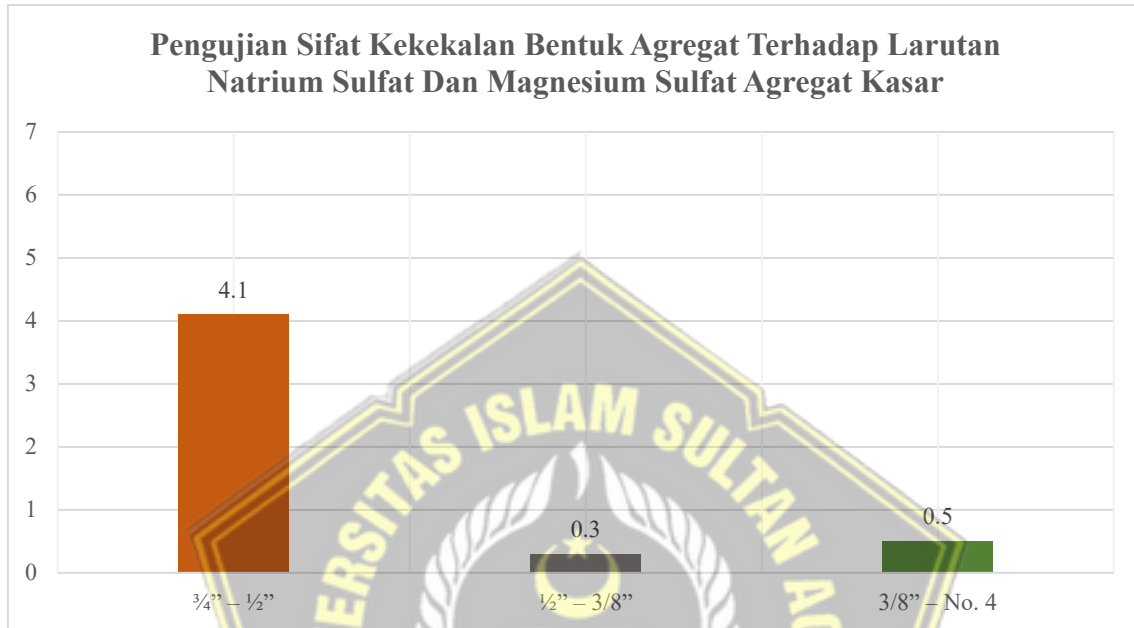


Gambar 4.19. Pengujian Mengandung Plastis Dengan Cara Setara Pasir Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian setara pasir (*sand equivalent*) untuk material dari Quarry Kampung Apalapsili dan Kampung Habie. Nilai setara pasir yang diperoleh masing-masing adalah 93,80% untuk Apalapsili dan 92,90% untuk Habie. Nilai setara pasir yang tinggi menunjukkan bahwa kedua material memiliki kandungan partikel plastis (lempung dan debu halus) yang sangat rendah sehingga agregat tergolong bersih dan tidak mengandung banyak bahan pengotor halus. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2020, nilai setara pasir minimum untuk agregat halus pada campuran beraspal panas adalah $\geq 50\%$, sehingga hasil kedua quarry ini jauh melebihi standar yang dipersyaratkan. Perbedaan nilai yang sangat kecil antara kedua lokasi menunjukkan bahwa karakteristik kebersihan agregat dari Apalapsili dan Habie hampir sama. Namun, nilai yang sedikit lebih tinggi

pada material Apalapsili mengindikasikan agregat yang lebih bersih dan berpotensi menghasilkan ikatan lebih baik dengan aspal dalam campuran perkerasan.

4. Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat Agregat Kasar



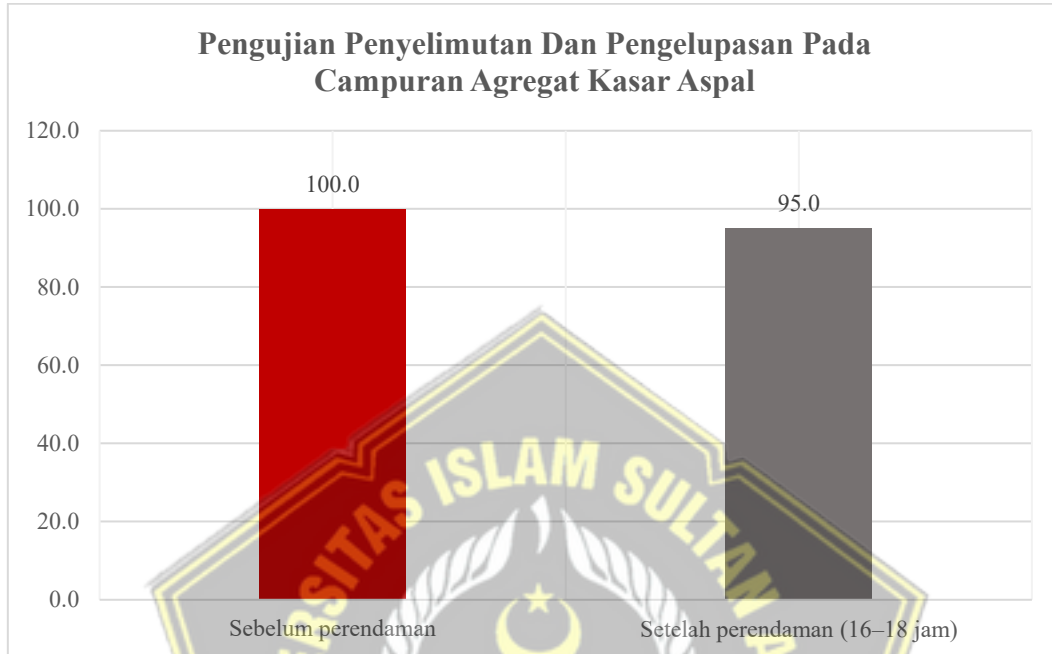
Gambar 4.20. Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat Dan Magnesium Sulfat Agregat Kasar Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian kekekalan bentuk agregat kasar terhadap larutan natrium sulfat dan magnesium sulfat, yang bertujuan untuk menilai daya tahan agregat terhadap pelapukan akibat perubahan volume dari proses pembekuan dan pencairan garam sulfat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kehilangan berat agregat untuk fraksi $\frac{3}{4}'' - \frac{1}{2}''$ sebesar 4,1%, $\frac{1}{2}'' - \frac{3}{8}''$ sebesar 0,3%, dan $\frac{3}{8}'' - \text{No.4}$ sebesar 0,5%. Nilai kehilangan yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap pengaruh pelapukan kimia terutama pada fraksi halus di bawah $\frac{1}{2}''$.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 batas maksimum kehilangan berat agregat pada pengujian kekekalan bentuk dengan larutan sulfat adalah maksimum 12% untuk natrium sulfat dan 18% untuk magnesium sulfat. Dengan demikian, seluruh hasil pengujian berada jauh di bawah batas toleransi, yang menandakan bahwa agregat kasar

dari lokasi ini memiliki ketahanan sangat baik dan layak digunakan sebagai bahan lapisan perkerasan jalan

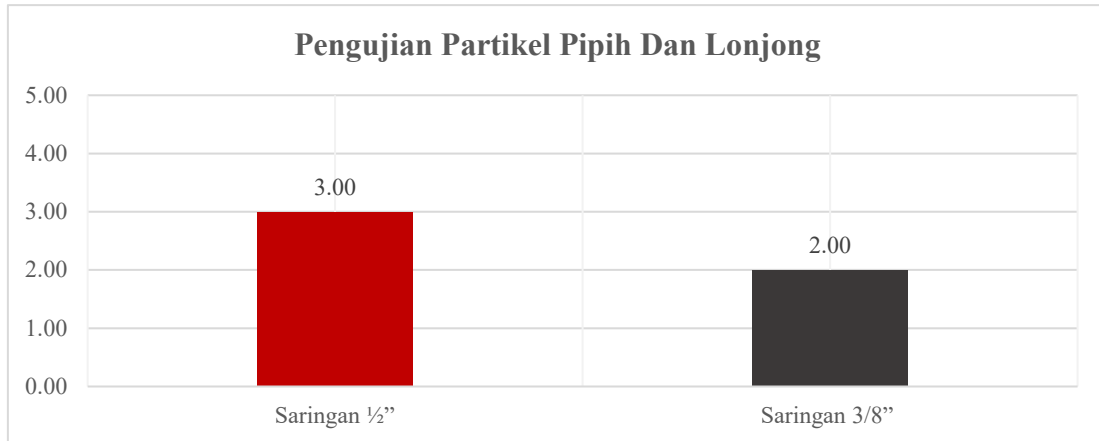
5. Pengujian Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Kasar Aspal



Gambar 4.21. Pengujian Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat Kasar Aspal Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat kasar aspal yang bertujuan untuk menilai daya lekat (*adhesi*) antara aspal dan agregat setelah perendaman. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa persentase agregat yang terselimuti aspal sebelum perendaman sebesar 100%, sedangkan setelah perendaman selama 16–18 jam menurun menjadi 95%. Penurunan sebesar 5% menunjukkan bahwa agregat memiliki daya lekat yang sangat baik terhadap aspal dengan hanya sedikit pengelupasan akibat pengaruh air. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 Divisi 6, nilai minimum penyelimutan agregat yang disyaratkan adalah $\geq 95\%$. Dengan demikian hasil pengujian ini memenuhi persyaratan standar, menandakan bahwa campuran agregat kasar dan aspal dari sumber ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap pengaruh air dan layak digunakan untuk perkerasan jalan beraspal.

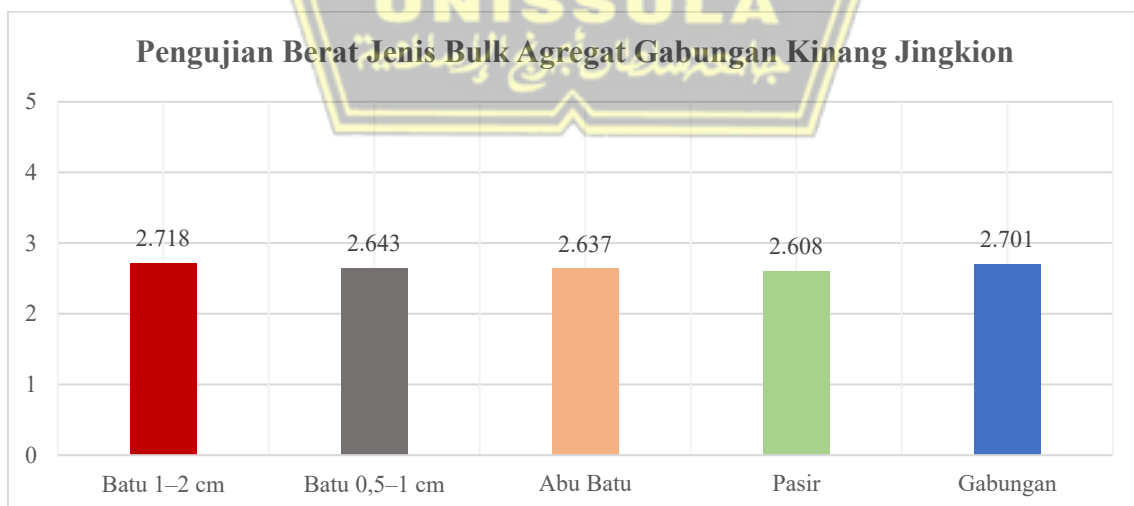
6. Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong



Gambar 4.22. Pengujian Partikel Pipih Dan Lonjong Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian partikel pipih dan lonjong pada agregat kasar menunjukkan bahwa pada saringan 1/2" diperoleh nilai 3%, sedangkan pada saringan 3/8" sebesar 2%. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah batas maksimum 25% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 Divisi 6 untuk agregat kasar campuran beraspal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa agregat memiliki bentuk butiran yang baik dan seragam

7. Pengujian Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)



Gambar 4.23. Pengujian Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion) Kampung Apalapsili dan Kampung Habie
Sumber: Data Diolah, Tahun 2025

Hasil pengujian berat jenis bulk agregat gabungan pada Quarry *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jinkion) menunjukkan bahwa nilai berat jenis masing-masing fraksi agregat bervariasi antara 2,608 hingga 2,718. Nilai tertinggi terdapat pada agregat kasar berukuran 1–2 cm sebesar 2,718, sedangkan nilai terendah diperoleh pada pasir sebesar 2,608. Hasil pengujian agregat gabungan menunjukkan nilai berat jenis bulk sebesar 2,701, yang masih berada dalam rentang 2,5–2,9 sesuai dengan kriteria Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 Divisi 6. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat gabungan memiliki kepadatan dan kualitas mineral yang baik serta layak digunakan sebagai bahan campuran perkerasan beraspal panas (Hot Mix Asphalt).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penggunaan material lokal *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) sebagai pengganti agregat konvensional pada lapisan perkerasan jalan lingkungan di Kabupaten Yalimo dapat disimpulkan bahwa material ini memiliki potensi yang cukup baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi di wilayah terpencil. Hasil pengujian analisis saringan menunjukkan bahwa gradasi agregat halus dan kasar dari material Kinang Jingkion berada dalam rentang yang dapat digunakan untuk pekerjaan perkerasan jalan. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berada pada nilai yang masih dapat diterima untuk agregat kelas jalan lingkungan. Pengujian keausan (*Los Angeles*) menunjukkan nilai abrasi yang lebih tinggi dibanding agregat konvensional, namun masih dalam batas yang memungkinkan untuk digunakan pada jalan ber-lalu lintas rendah. Pada pengujian karakter plastis dan kekotoran agregat yaitu setara pasir, kadar lumpur, dan bahan lolos saringan No. 200, material Kinang Jingkion memenuhi batas maksimal standar, sehingga kualitas kebersihan material masih baik. Uji kekekalan terhadap natrium sulfat dan magnesium sulfat menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan yang cukup terhadap proses pelapukan, walaupun tidak sebaik agregat batu pecah standar. Hasil uji penyelimutan dan pengelupasan memperlihatkan bahwa aspal masih dapat menyelimuti agregat dengan baik menunjukkan tingkat adhesi yang memadai. Pengujian partikel pipih dan lonjong menunjukkan persentase yang masih dalam batas wajar untuk digunakan sebagai bahan campuran. Nilai berat jenis bulk agregat gabungan aluvial gravel sand (Kinang Jingkion) juga berada pada kisaran yang sesuai untuk campuran beraspal. Sifat aspal yang digunakan yaitu aspal Pen 60/70, juga sesuai standar dengan nilai berat jenis yang normal. Berat jenis maksimum campuran beraspal dan hasil uji Marshall menunjukkan bahwa campuran aspal dengan agregat Kinang Jingkion masih memenuhi beberapa parameter stabilitas dan flow, meskipun stabilitasnya sedikit lebih rendah dibanding campuran yang menggunakan agregat konvensional.

Secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa material Kinang Jingkion layak digunakan untuk pekerjaan perkerasan jalan lingkungan terutama pada ruas dengan beban lalu lintas rendah. Penggunaan material lokal ini memberikan keuntungan dari sisi biaya, aksesibilitas, dan ketersediaan. Namun demikian penelitian juga menemukan kelemahan yaitu material mudah pecah ketika terendam terlalu lama sehingga sensitif terhadap kejenuhan air. Karena itu, penerapannya harus disertai sistem drainase yang baik dan penggunaan yang disesuaikan dengan kelas jalan yang tidak menerima beban berat. Dengan demikian material Kinang Jingkion dapat menjadi alternatif agregat yang potensial bagi wilayah terpencil seperti Yalimo selama penggunaannya dikendalikan dan disesuaikan dengan kebutuhan teknis lapangan.

5.2. Saran

1. Material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) telah terbukti memenuhi sebagian besar persyaratan teknis sehingga disarankan untuk mulai dimanfaatkan oleh Pemerintah Kabupaten Yalimo dan Dinas PUPR sebagai alternatif agregat pada pekerjaan jalan. Penggunaan material lokal dapat menekan biaya transportasi dan mendukung kemandirian pembangunan infrastruktur di wilayah pegunungan Papua
2. Karena material *Aluvial Gravel Sand* (Kinang Jingkion) mudah pecah apabila terendam terlalu lama maka sistem drainase pada ruas jalan harus direncanakan dan dikelola dengan baik. Penggunaan material ini disarankan pada ruas jalan dengan risiko genangan rendah
3. Disarankan dilakukan analisis efisiensi biaya dan dampak lingkungan untuk memastikan bahwa pemanfaatan material lokal ini tetap ekonomis dan berkelanjutan. Penambangan material perlu diawasi agar tidak menimbulkan kerusakan lingkungan di sekitar lokasi pengambilan
4. Untuk peneliti selanjutnya disarankan agar penelitian mengenai material Kinang Jingkion dikembangkan lebih mendalam, khususnya terkait kelemahan material yang mudah pecah ketika terendam terlalu lama. Penelitian lanjutan perlu melakukan uji ketahanan terhadap air secara lebih detail seperti uji siklus basah–kering dan rendaman berkepanjangan guna mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik material dalam kondisi lapangan yang memiliki curah hujan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriyanto, R. 2020. *Metodologi Penelitian: Teori dan Aplikasi dalam Penelitian Teknik*. Yogyakarta: Deepublish.
- Bahtiar. 2024. "Karakteristik serbuk Kijang Jingkion Yalimo Papua sebagai bahan pengisi pada campuran HRS-WC." *Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia* 10(3).
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR. 2017. *Manual Perkerasan Jalan Revisi Juni 2017*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*.
- Hardiyatmo, H C. 2015. *Teknologi Bahan untuk Perkerasan Jalan Raya*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Idie, Johanis Hs Ervans. 2023. "Analisa tebal perkerasan dengan menggunakan material Aluvial Gravel Sand (Kinang Jingkion)." *Jurnal Ilmiah Indonesia* 8(10).
- Kodoatie, R J, dan Sugianto. 2002. *Infrastruktur Kota*. Andi Publisher.
- Nasional, Badan Standardisasi. 1990. *SNI 03-1968-1990: Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 1991a. *SNI 03-2439-1991: Metode Pengujian Penyelimutan dan Pengelupasan pada Campuran Agregat Aspal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 1991b. *SNI 06-2441-1991: Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 1994. *SNI 03-3407-1994: Metode Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat terhadap Pengaruh Larutan Natrium Sulfat dan Magnesium Sulfat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 1996. *SNI 03-4141-1996: Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 1997a. *SNI 03-4428-1997: Metode Pengujian Nilai Setara Pasir Agregat Halus (Sand Equivalent Test)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Nasional, Badan Standardisasi. 1997b. *SNI 03-4429-1997: Metode Pengujian Kuantitas Butiran Pipih, Lonjong, atau Pipih dan Lonjong dalam Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 2008a. *SNI 03-2417-2008: Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (Los Angeles Abrasion Test)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 2008b. *SNI 1968:2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Gabungan (Combined Aggregate Bulk Specific Gravity Test)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, Badan Standardisasi. 2008c. *SNI 1969:2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sugiyanto. 2019. *Perencanaan Jalan Raya dan Jembatan*. Jakarta: Penerbit Teknik Sipil Nusantara.
- Sukirman, S. 2013. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Todaro, M P, dan S C Smith. 2015. *Economic Development*. 12th ed. Pearson Education.
- Yalimo, Badan Pusat Statistik Kabupaten. 2023. *Kabupaten Yalimo dalam Angka 2023*. Badan Pusat Statistik.
- Yalimo, Pemerintah Kabupaten. 2013. *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Yalimo Tahun 2013–2033*.

