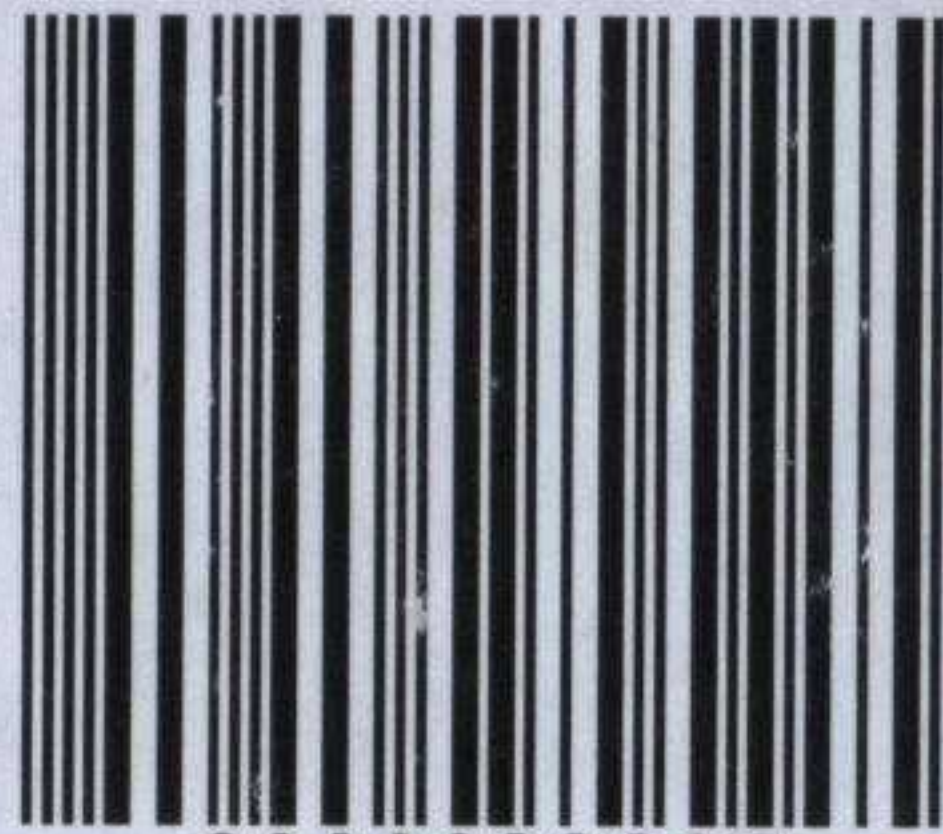




PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT



0000022897

PENERAPAN TERBATAS ASPAL PLASTIK & ASPAL KARET DI JALAN LINGKUNGAN PUSJATAN

IWAN SUSANTO, ST., MT.

PENERAPAN TERBATAS ASPAL PLASTIK & ASPAL KARET DI JALAN LINGKUNGAN PUSJATAN

EDISI PERTAMA

Iwan Susanto, ST., MT.



**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**

**PENERAPAN TERBATAS
ASPAL PLASTIK &
ASPAL KARET**
DI JALAN LINGKUNGAN PUSJATAN

Oleh:

Iwan Susanto, ST., MT.

Hak Cipta @2019, pada penulis

Hak Publikasi pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan,
Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

*Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau seluruh isi dari buku ini
dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.*

Cetakan ke- 01

Tahun 19

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Litbang,
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40294
Email: info@pusjatan.pu.go.id

ISBN 978-602-264-180-3

Dicetak oleh percetakan Nuansa Cendekia

Iwan Susanto, ST., MT.

**PENERAPAN TERBATAS
ASPAL PLASTIK &
ASPAL KARET
DI JALAN LINGKUNGAN PUSJATAN**



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUB TIM TEKNIS

Tim Teknis:

1. Prof. Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
2. Dr. Nyoman Suaryana Gelgel.
3. Dr. Djoko Widajat, MSc.
4. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
5. Ir. GJW Fernandez.
6. Ir. Iriansyah, AS.

Sub Tim Teknis:

1. Dr. Drs. Madi Hermasi, MM.
2. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
3. Ir. Ida Rumkita, M.Sc.
4. Ir. Nono, M. Eng. Sc.

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset di bawah Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PUPR dalam menyelenggarakan infrastruktur jalan dan jembatan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur. Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KATA PENGANTAR

Pusjatan telah melakukan kajian terhadap teknologi perkerasan jalan dengan memanfaatkan limbah plastik dan bahan karet alam dalam campuran beraspal yang merupakan salah satu teknologi unggulan hasil penelitian Pusjatan.

Pemanfaatan karet alam sebagai bahan perkerasan jalan salah satunya adalah memanfaatkan karet alam sebagai bahan modifikasi aspal untuk meningkatkan mutu aspal sebagai bahan campuran beraspal. Aspal dengan bahan tambah karet alam akan memiliki karakteristik teknis yang baru antara lain meningkatnya kelekatan aspal, mengurangi terjadinya deformasi, dan meningkatkan ketahanan terhadap retak dalam campuran beraspal.

Untuk teknologi campuran aspal plastik, teknologi ini mengadopsi dari India. Selain meningkatkan kinerja campuran beraspal, pemanfaatan limbah plastik ini sangat besar manfaatnya untuk lingkungan dengan berkurangnya sampah plastik. Berdasarkan hasil penelitian dan penerapan, jalan dengan limbah plastik ini menunjukkan kinerja yang baik. Oleh sebab itu apabila teknologi ini dapat diterapkan di Indonesia akan sangat berdampak baik bagi kualitas perkerasan jalan dan lingkungan hidup.

Buku ini membahas tentang proses penerapan teknologi aspal karet dan aspal plastik untuk kategori jalan lingkungan. Proses perencanaan dan pelaksanaan teknologi ini menjadi bahasan utama dalam buku ini. Proses perencanaan terdiri pengujian mutu bahan dan desain campuran (DMF dan JMF). Untuk proses pelaksanaan akan membahas teknik penerapan di lapangan yang terdiri dari proses pencampuran di AMP, penghamparan, dan pemadatan.

Buku ini diharapkan dapat memberikan wawasan bagi perencana, pelaksana, dan pengawas tentang teknik penerapan teknologi campuran aspal karet dan aspal plastik yang digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dan dapat memberikan kinerja campuran yang baik, asalkan dilaksanakan dengan teknik yang benar.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR — 5

DAFTAR ISI — 6

DAFTAR TABEL — 8

DAFTAR GAMBAR — 10

1 PENDAHULUAN — 11

1.1 Latar Belakang — 11

1.2 Pemanfaatan Karet Alam — 12

1.3 Pemanfaatan Limbah Plastik — 14

2 SPESIFIKASI ASPAL KARET DAN ASPAL PLASTIK — 16

2.1 Aspal Karet — 16

2.2 Karet Alam — 18

2.3 Aspal Karet *Masterbatch* — 19

2.4 Campuran Beraspal dengan Bahan Tambah Karet Alam — 20

2.5 Karakteristik campuran beraspal dengan aspal karet — 23

2.6 Hasil Kajian Laboratorium Pencampuran Aspal dengan Karet —
25

2.7 Pengujian Sifat Fisik Aspal Karet *Masterbatch* — 27

2.8 Pengujian Karakteristik Aspal Karet menggunakan Marshall —
28

2.9 Pengujian stabilitas dinamis Aspal Karet dengan alat WTM —
28

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.10 | Campuran Beraspal dengan Bahan Tambah Limbah Plastik — | 30 |
| 2.11 | Hasil Kajian Laboratorium Campuran Beraspal Limbah Plastik — | 33 |
| 2.12 | Pengujian Karakteristik Campuran Beraspal Limbah Plastik — | 35 |
| 2.13 | Pengujian stabilitas dinamis campuran beraspal menggunakan limbah plastik — | 35 |
| 2.14 | Pengujian modulus resilient campuran beraspal menggunakan limbah plastik — | 36 |
| 3 | METODOLOGI PENERAPAN — | 37 |
| 3.1 | Tahapan Kegiatan — | 37 |
| 3.2 | Bagan Alir — | 39 |
| 4 | UJI COBA PENERAPAN ASPAL KARET DAN ASPAL PLASTIK — | 40 |
| 4.1 | Data Pelaksanaan Penerapan Teknologi — | 40 |
| 4.2 | Analisis — | 59 |
| 4.3 | Pembahasan — | 63 |
| 5 | PENUTUP — | 65 |
| 5.1 | Penerapan Teknologi Aspal Karet <i>Masterbatch</i> — | 65 |
| 5.2 | Penerapan Teknologi Aspal Plastik — | 65 |
| 5.3 | Saran — | 66 |
| | DAFTAR PUSTAKA — | 67 |
| | LAMPIRAN — | 69 |
| a. | <i>Pilot Project</i> Model Perkerasan Jalan dengan Teknologi Aspal Karet — | 69 |
| b. | <i>Pilot Project</i> Model Perkerasan Jalan dengan Teknologi Aspal Plastik — | 70 |

DAFTAR TABEL

| |
|---|
| Tabel 2.1 Ketentuan aspal berdasarkan Spesifikasi Bina Marga TA 2010 — 20 |
| Tabel 2.2 Ketentuan aspal berdasarkan Draf. Spesifikasi Laston Karet Alam — 21 |
| Tabel 2.3 Ketentuan gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal — 21 |
| Tabel 2.4 Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston — 22 |
| Tabel 2.5 Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston karet alam — 22 |
| Tabel 2.6 Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston karet alam — 23 |
| Tabel 2.7 Hasil pengujian ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi (WTM) — 24 |
| Tabel 2.8 Sifat fisik aspal karet hasil percobaan variasi waktu pencampuran — 25 |
| Tabel 2.9 Sifat fisik aspal karet hasil percobaan variasi kecepatan putaran pengaduk baling-baling — 26 |
| Tabel 2.10 Sifat fisik aspal karet yang dipengaruhi kadar karet <i>masterbatch</i> — 27 |
| Tabel 2.11 Perbandingan Karakteristik Campuran Panas Standar dan Penambahan Karet — 28 |
| Tabel 2.12 Hasil Uji Ketahanan terhadap Deformasi — 29 |
| Gambar 2.4. Ilustrasi Metode Pencampuran <i>Dry Process</i> — 30 |
| Tabel 2.13 Spesifikasi Campuran beraspal dengan limbah plastik IRC:SP:98-2013 — 31 |

| | |
|---|----|
| Tabel 2.14 Ketentuan Limbah Plastik Hasil Cacahan — | 31 |
| Tabel 2.15 Ketentuan Sifat Campuran Beraspal Panas Laston Limbah Plastik — | 32 |
| Tabel 2.16 Ketentuan Sifat Campuran Beraspal Panas Laston Limbah Plastik — | 32 |
| Tabel 2.17 Ketentuan Sifat Campuran Beraspal Panas Laston Limbah Plastik — | 34 |
| Tabel 2.18 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran dengan Alat Marshall — | 34 |
| Tabel 2.19 Durabilitas Campuran AC-WC yang Dipengaruhi Limbah Plastik — | 35 |
| Tabel 2.20 Hasil Uji Ketahanan Deformasi (WTM) — | 35 |
| Tabel 2.21 Hasil pengujian modulus resilient campuran dengan limbah plastik — | 36 |
| Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Nilai CBR — | 42 |
| Tabel 4.2 Hasil Uji Mutu Agregat A dan Kepadatan Campuran — | 47 |
| Tabel 4.3 Pengujian Propertis <i>Prime Coat</i> CSS-1H PT. Buntara — | 48 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sifat Agregat untuk Campuran Beraspal — | 49 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Aspal Konvensional Pen 60/70 — | 50 |
| Tabel 4.6 Hasil Pengujian Aspal Karet <i>Masterbatch</i> — | 51 |
| Tabel 4.7 Gradasi agregat hotbin dan gradasi campuran — | 52 |
| Tabel 4.8 Sifat Campuran Berdasarkan Kriteria Marshall — | 53 |
| Tabel 4.9 Takaran Pengaplikasian <i>Tack Coat</i> dan <i>Prime Coat</i> — | 55 |
| Tabel 4.10 Resume Temperatur Pelaksanaan Campuran Aspal Karet — | 58 |
| Tabel 4.11 Resume Temperatur Pelaksanaan Campuran Aspal Plastik — | 57 |
| Tabel 4.12 Hasil Uji Kepadatan Lapangan — | 58 |
| Tabel 4.13 Hasil Uji Ekstrasi Campuran Beraspal — | 59 |
| Tabel 4.14 Perbandingan Kepadatan Lapangan dan Kepadatan Laboratorium — | 60 |
| Tabel 4.15 Nilai Derajat Kepadatan Campuran Beraspal — | 61 |
| Tabel 4.16 Analisis Hasil Uji Ekstraksi — | 61 |

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi (a) dan rasio peningkatan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi (b) — 24
- Gambar 2.2. Grafik hubungan waktu dan kecepatan putaran *mixer* dengan karakteristik aspal karet *masterbatch* — 26
- Gambar 2.3. Grafik Kedalamam Deformasi Hasil Pengujian WTM — 29
- Gambar 2.5. Grafik Gradasi Gabungan Agregat Campuran AC-Wearing — 34
- Gambar 2.6. Grafik Kedalamam Deformasi Hasil WTM — 35
- Gambar 3.1. Diagram Alir Kegiatan Penerapan Teknologi Aspal Karet dan Aspal Plastik — 39
- Gambar 4.1. Lokasi Pusjatan dalam Peta Kota Bandung dan Denah Kampus Pusjatan — 40
- Gambar 4.2 Kondisi Eksisting Lokasi Penerapan — 41
- Gambar 4.3 Jenis Struktur dan Tebal Lapisan Perkerasan Eksisting — 43
- Gambar 4.4 Hasil Pengujian FWD — 43
- Gambar 4.5 Survei Tinggi Banjir dan Drainase Jalan — 44
- Gambar 4.6 Kondisi AMP PT. Selo Sakti Perkasa — 45
- Gambar 4.7 Skema Pencampuran *Masterbatch* dan Aspal di Bitumen Plant — 46
- Gambar 4.8 Hasil Uji Gradasi untuk Agregat Kelas A — 47
- Gambar 4.9 Gradasi Agregat Campuran Hotbin — 53
- Gambar 4.10 Sketsa Pelaksanaan Penghamparan di Lapangan — 54
- Gambar 4.11 Dokumentasi Pelaksanaan Lapangan — 56
- Gambar 4.12 Perbandingan Gradasi Rencana dan Ekstraksi — 62

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi jalan belakang Pusjatan yang merupakan akses keluar menuju Jalan Golf Selatan I mengalami banyak kerusakan. Disisi lain, Pusjatan telah melakukan kajian terhadap teknologi perkerasan jalan dengan memanfaatkan limbah plastik dan bahan karet alam dalam campuran beraspal yang merupakan salah satu teknologi unggulan hasil penelitian Pusjatan. Pengukuran kinerja campuran beraspal dengan limbah plastik dan karet alam dapat dilakukan lebih efektif dan efisien untuk dianalisa ketika penerapan dilaksanakan jalan lingkungan Pusjatan.

Bertambahnya volume lalu lintas, baik dalam hal jumlah, beban, maupun kecepatannya baik oleh pegawai, tamu, maupun aktifitas pengujian laboratorium di wilayah Pusjatan serta kondisi iklim tropis menjadi alasan lain banyak ditemukannya kerusakan jalan. Berdasarkan beberapa penelitian menunjukkan penggunaan aspal yang tidak sesuai (titik lembek rendah) sering menjadi penyebab terjadinya kerusakan dini berupa alur, gelombang dan naiknya aspal ke permukaan. Berbagai macam modifikasi untuk meningkatkan mutu aspal telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Bahan modifier aspal yang banyak ditemukan di pasaran saat ini yaitu modifier elastomer. Jenis modifier elastomer yang sering digunakan adalah elastomer sintetis, seperti SBS (*Styrene-Butadiene-Styrene*) dan SBR (*Styrene-Butadiene-Rubber*), karena modifier jenis ini disinyalir lebih tahan terhadap panas serta memiliki elastisitas yang tinggi. Jenis bahan modifier tersebut harganya cukup mahal dan ketersediaanya belum tentu ada di Indonesia. Beberapa upaya terus dilakukan untuk mencari alternatif modifier yang dapat meningkatkan mutu aspal, namun harganya murah dan ketersediaanya banyak di Indonesia.

1.2 Pemanfaatan Karet Alam

Pemanfaatan karet alam sebagai bahan perkerasan jalan salah satunya dengan cara memanfaatkan karet alam sebagai bahan modifikasi aspal untuk meningkatkan mutu aspal sebagai bahan campuran beraspal, sehingga menghasilkan material yang baru yang memiliki karakteristik teknis yang dapat meningkatkan kelekatan aspal, mengurangi terjadinya deformasi, dan meningkatkan ketahanan terhadap retak dalam campuran beraspal. Selain itu dari beberapa literatur menyebutkan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan karet alam memiliki ketahanan lelah (*fatigue resistance*) pada campuran beraspal yang tinggi.

Sejak tahun 2015 Pusjatan telah mengembangkan teknologi aspal karet. Pada kegiatan pengembangannya tersebut, telah dicoba membandingkan beberapa tipe karet alam cair dan karet alam padat yang tidak dan telah melalui proses vulkanisasi sebagai modifier aspalnya. Hasil pengembangan tersebut ternyata modifier karet alam yang telah melalui proses vulkanisasi baik dalam bentuk karet alam cair maupun karet alam padat dapat memberikan efek positif yang lebih baik dibandingkan dengan modifier karet alam yang tidak melalui proses vulkanisasi salah satunya dalam hal stabilitas penyimpanan aspal karetnya. Karet alam yang telah melalui proses vulkanisasi ketika dicampur dengan aspal akan membentuk jaringan tiga dimensi pada karet alamnya dengan demikian karet alam tersebut dapat mengikat molekul-molekul aspal, sehingga degradasi aspal dengan karet alam akibat waktu dan temperatur pemanasan dapat dikurangi.

Berdasarkan hasil pengembangan aspal karet terkait karakteristik campuran beraspal yang dilakukan di Laboratorium Pusjatan Bandung, telah diuji coba pada ruas Ciawi-Benda (tahun 2016) serta jalan di Kampus Universitas Udayana-Bali (tahun 2017) dapat disimpulkan bahwa penggunaan karet alam padat yang telah melalui proses vulkanisasi ke dalam campuran beraspal memberikan ketahanan terhadap beban statis dan beban dinamis lebih baik dibandingkan dengan karet alam cair yang telah melalui proses vulkanisasi. Hal ini dikarenakan penambahan karet alam padat yang telah melalui proses vulkanisasi ke dalam aspal dapat meningkatkan stabilitas termal. Pada temperatur rendah, struktur molekul karet alam berfungsi sebagai selaput dalam aspal karet sehingga dapat menahan penjaralan retak. Sedangkan pada temperatur tinggi, sifat aspal berubah menjadi encer, akan tetapi sifat polimer dari aspal karet menghambat pengaliran aspal sehingga meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa karet alam padat vulkanisasi memberikan efek positif lebih baik dibandingkan dengan karet alam cair vulkanisasi.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada tahun 2016 juga diperoleh kesimpulan antara lain terdapat beberapa kendala dalam pengaplikasian karet alam padat vulkanisasi sebagai modifier aspal. Beberapa kendala yang ditemui antara lain:

1. Penambahan karet alam padat sebagai modifier aspal akan meningkatkan kekentalan pada aspal karet sehingga memerlukan temperatur pencampuran yang lebih tinggi.
2. Penambahan karet alam padat ke dalam aspal memerlukan dua tahap proses pencampuran; Tahap pertama untuk memperkecil butiran karet alam padatnya sedangkan tahap kedua untuk menghaluskan dan mendispersikannya.
3. Pada proses pencampuran aspal karet dengan modifier karet alam padat memerlukan mesin yang mempunyai putaran (rpm) yang tinggi, dimana untuk skala yang lebih besar mesin dengan kecepatan seperti ini sulit didapat dan digunakannya terutama pada saat pengaplikasian di lapangan.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, maka dalam penelitian pengembangan karet alam sebagai bahan modifier aspal digunakan bahan karet alam padat yang telah melalui proses vulkanisasi yang dibuat dalam bentuk *masterbatch*. Penggunaan karet alam padat yang disiapkan dalam bentuk *masterbatch* diharapkan akan menghasilkan aspal karet yang lebih mudah dicampur sehingga tidak perlu lagi menambah atau memodifikasi ketel aspal di AMP. Selain dari itu, karet alam padat yang dibuat dalam bentuk *masterbatch*, diharapkan dapat meningkatkan mutu aspal karet yang lebih tinggi dari sebelumnya, dapat meningkatkan persentase pemakaian karet alam tersebut sehingga dapat membantu meningkatkan konsumsi pemakaian karet alam dalam negeri, dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan dengan bertambahnya umur pemakaian jalan, serta mengurangi biaya pemeliharaan jalan. Penggunaan bahan karet alam padat dalam bentuk *masterbatch* juga diharapkan bahwa tersebut dapat disimpan (distock) lebih lama dibandingkan dengan modifier karet alam cair vulkanisasi sebelum dicampur dengan aspal. Sehingga produsen modifier *masterbatch* tidak perlu khawatir kalau produknya akan cepat kadaluarsa (Santo, 2017).

1.3 Pemanfaatan Limbah Plastik

Selain modifikasi aspal dengan karet *masterbatch*, peningkatan mutu campuran beraspal dapat dilakukan dengan cara memodifikasi campuran beraspal dengan suatu bahan tambah. Salah satu bahan tambah yang umum digunakan adalah polimer. Plastik yang sering kita gunakan sehari-hari mengandung polimer dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan tambah perkerasan jalan. Limbah plastik merupakan salah satu hasil pengolahan sampah yang berasal dari Tempat Pembuangan Sampah (TPS) atau Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Limbah plastik ini umumnya berasal dari buangan rumah tangga dan industri yang jumlahnya setiap tahun meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi suatu negara. Indonesia merupakan negara penghasil limbah plastik terbesar nomor dua setelah Tiongkok sehingga pemanfaatan limbah plastik merupakan isu penting guna penyelamatan lingkungan. Salah satu pemanfaatan limbah plastik dalam bidang perkerasan jalan adalah sebagai bahan campuran beraspal panas.

Limbah plastik sebagai bahan perkerasan jalan sebenarnya bukanlah hal yang baru. Seorang peneliti di India telah memanfaatkan plastik sebagai bahan jalan dan telah diterapkan pada > 20.000 mil jalan di India. Metoda yang digunakan di India ini, plastik digunakan untuk memodifikasi agregat bukan aspal. Penelitian tentang plastik di Pusjatan juga pernah dilakukan, akan tetapi fungsi plastik disini sebagai modifier aspal.

Dalam metode aspal plastik yang digunakan di India, plastik yang ditambahkan pada agregat akan merubah sifat fisik agregat sebagai bahan perkerasan jalan yaitu:

- a) meningkatkan nilai abrasi,
- b) meningkatkan nilai *crushing*,
- c) *void* menjadi lebih kecil, dan
- d) lebih tahan terhadap pengelupasan.

Jika ditinjau dari campuran beraspal, keuntungan menggunakan plastik adalah:

- a) kemampuan menahan deformasi yang lebih tinggi,
- b) lebih tahan terhadap air,
- c) meningkatkan durabilitas dan umur lelah,
- d) meningkatkan stabilitas serta kekuatan.

Pada tahun 2017 Pusjatan telah melakukan kajian terhadap pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan campuran beraspal panas di laboratorium serta

menyusun pedoman perancangan dan pelaksanaan penggunaan limbah plastik sebagai campuran beraspal. Untuk mengetahui kinerja campuran beraspalnya, maka dilakukan uji coba penerapan skala terbatas campuran beraspal menggunakan limbah plastik di jalan lingkungan Pusjatan.

Pada penerapan teknologi ini, lokasi penerapan akan dilaksanakan pada jalan dengan kategori jalan lingkungan atau jalan volume rendah. Jalan akses keluar arah Jalan Golf Selatan I dan sisi belakang Gedung CARRO Pusjatan mengalami kerusakan dan memerlukan perbaikan jalan sehingga jalan tersebut berfungsi dengan baik. Berdasarkan uraian tersebut maka akan dilaksanakan perbaikan pada lokasi jalan keluar dan belakang Gedung CARRO. Teknologi yang akan dicoba diterapkan pada kegiatan penerapan terbatas ini adalah teknologi aspal karet dan aspal plastik. Melalui penerapan teknologi tersebut, selain untuk memperbaiki kondisi jalan di lokasi studi juga dapat menjadi *display* sehingga para peneliti dan pengunjung di lingkungan kampus Pusjatan dapat melihat langsung proses pelaksanaan, konstruksi perkerasan, serta produk akhir dari kedua teknologi tersebut.

2 SPESIFIKASI ASPAL KARET DAN ASPAL PLASTIK

2.1 Aspal Karet

Aspal karet merupakan hasil pencampuran aspal minyak dan karet dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara panas. Karet alam yang dicampurkan ke dalam aspal panas akan tersebar, reaksi kimia terbentuk dengan bagian cair bitumen yang menyebabkan kadar *asphaltene* naik. Sehingga aspal menjadi lebih kental dan keras akan tetapi masih elastis. Umumnya bahan karet yang digunakan untuk membuat aspal karet adalah karet sintetis dan karet alam.

Karet sintetis atau karet buatan yang sering digunakan untuk bahan modifikasi aspal karet disebut dengan *synthetic rubber*, merupakan polimerisasi *styrene* yang dikombinasikan dengan *butadiene* menghasilkan *styrene butadiene rubber* (SBR) atau *styrene butadiene styrene* (SBS), yang mempunyai sifat seperti karet alam dan mempunyai kelebihan lebih tahan terhadap temperatur dan oksidasi.

Karet alam yang telah banyak diteliti penggunaannya sebagai bahan modifikasi aspal adalah karet alam cair berupa lateks, karet alam padat dengan jenis *Standar Indonesia Rubber* (SIR) dan limbah ban bekas yang telah dihaluskan. Penggunaan karet alam sebagai bahan modifikasi aspal diyakini dapat meningkatkan kelekatan dan elastisitas aspal sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal. Menurut *Road Note 36* yang dikutip oleh Collin Huglles (2005) penggunaan karet alam sebagai bahan modifikasi aspal di Inggris pada awalnya menggunakan bahan karet dalam bentuk bubuk, tapi dari percobaan-percobaan berikutnya penggunaan karet alam dalam bentuk lateks mempunyai efek yang lebih baik dalam aspal modifikasi ketika karet menyatu dengan aspal dalam bentuk jeli, selain dari itu waktu pencampuran lebih pendek serta temperatur pencampuran lebih rendah.

Menurut Kurniadji (1999), pada saat proses pencampuran secara panas aspal minyak dan lateks, atom hidrogen yang terdapat di dalam molekul aspal karet dapat menguap. Pada keadaan ini molekul karet mengalami degradasi sehingga akan mengurangi efektifitas aspal karet. Pada saat lateks ditambahkan kedalam aspal panas, lateks akan menyebar dalam bentuk partikel yang halus, akibat panas partikel karet akan menyerap kandungan minyak (*maltene*) aspal kemudian mengembang dan melarut sehingga akan diperoleh aspal yang liat.

Penelitian mengenai aspal karet oleh Pusjatan telah dilakukan sejak lama akan tetapi sempat terhenti dan mulai dilakukan lagi pada tahun 2015 sampai sekarang. Jenis karet yang digunakan adalah jenis lateks dan karet padat. Pada tahun 2015 Pusjatan Bandung telah mengembangkan teknologi aspal karet. Dalam kegiatan pengembangannya tersebut, telah dicoba membandingkan beberapa tipe karet alam cair dan karet alam padat yang tidak dan telah melalui proses vulkanisasi sebagai modifier aspalnya. Berdasarkan hasil pengembangan tersebut ternyata modifier karet alam yang telah melalui proses vulkanisasi baik dalam bentuk karet alam cair maupun karet alam padat dapat memberikan efek positif yang lebih baik dibandingkan dengan modifier karet alam yang tidak melalui proses vulkanisasi salah satunya dalam hal stabilitas penyimpanan aspal karetnya.

Karet alam yang telah melalui proses vulkanisasi ketika dicampur dengan aspal akan membentuk jaringan tiga dimensi pada karet alamnya dengan demikian karet alam tersebut dapat mengikat molekul-molekul aspal, sehingga degradasi aspal dengan karet alam akibat waktu dan temperatur pemanasan dapat dikurangi (Yusep, 2015). Hasil pengembangan aspal karet terkait karakteristik campuran beraspal yang dilakukan di Laboratorium Pusjatan Bandung pada tahun 2016, ternyata penggunaan karet alam padat yang telah melalui proses vulkanisasi ke dalam campuran beraspal memberikan ketahanan terhadap beban statis dan beban dinamis lebih baik dibandingkan dengan karet alam cair yang telah melalui proses vulkanisasi. Karena penambahan karet alam padat yang telah melalui proses vulkanisasi ke dalam aspal dapat meningkatkan stabilitas termal. Pada temperatur rendah, struktur molekul karet alam berfungsi sebagai selaput dalam aspal karet sehingga dapat menahan penjarangan retak. Sedangkan pada temperatur tinggi, sifat aspal berubah menjadi encer, akan tetapi sifat polimer dari aspal karet menghambat pengaliran aspal sehingga meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi. Sehingga karet alam padat vulkanisasi memberikan efek positif lebih baik dibandingkan dengan karet alam cair vulkanisasi. Akan tetapi dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, ternyata penggunaan karet alam padat vulkanisasi sebagai modifier aspal masih terdapat beberapa kendala dalam pengaplikasiannya.

Beberapa kendala dalam penggunaan karet alam padat vulkanisasi sebagai modifier aspal, antara lain; (1) Penambahan karet alam padat sebagai modifier aspal

akan meningkatkan kekentalan pada aspal karet sehingga memerlukan temperatur pencampuran yang lebih tinggi. (2) Penambahan karet alam padat ke dalam aspal memerlukan dua tahap proses pencampuran; Tahap pertama untuk memperkecil butiran karet alam padatnya sedangkan tahap kedua untuk menghaluskan dan mendispersikannya, (3) Dalam proses pencampuran aspal karet dengan modifier karet alam padat memerlukan mesin yang mempunyai putaran (rpm) yang tinggi, dimana untuk skala yang lebih besar mesin dengan kecepatan seperti ini sulit didapat dan digunakannya terutama pada saat pengaplikasian di lapangan. Untuk mengatasi permasalahan di atas, maka dalam penelitian pengembangan karet alam sebagai bahan pemodifikasi aspal kali ini, akan digunakan bahan karet alam padat yang telah melalui proses vulkanisasi yang dibuat dalam bentuk *masterbatch*. Dengan menggunakan karet alam padat yang disiapkan dalam bentuk *masterbatch* diharapkan akan menghasilkan aspal karet yang lebih mudah dicampur sehingga tidak perlu lagi menambah atau memodifikasi ketel aspal di AMP. Selain itu, karet alam padat yang dibuat dalam bentuk *masterbatch*, diharapkan dapat meningkatkan mutu aspal karet yang lebih tinggi dari sebelumnya, dapat meningkatkan persentase pemakaian karet alam tersebut sehingga dapat membantu meningkatkan konsumsi pemakaian karet alam dalam negeri, dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan dengan bertambahnya umur pemakaian jalan, serta mengurangi biaya pemeliharaan jalan. Penggunaan bahan karet alam padat dalam bentuk *masterbatch* juga diharapkan, bahan tersebut dapat disimpan (distock) lebih lama dibandingkan dengan modifier karet alam cair vulkanisasi sebelum dicampur dengan aspal. Sehingga produsen modifier *masterbatch* tidak perlu khawatir kalau produknya akan cepat kadaluarsa.

2.2 Karet Alam

Karet alam adalah senyawa hidrokarbon yang dihasilkan melalui penggumpalan getah dari hasil penyadapan pohon *havea brasiliensis*. Getah tersebut kemudian dikenal dengan sebutan lateks, yaitu suatu cairan putih yang keluar dari batang tanaman yang disadap. Karet alam termasuk salah satu jenis elastomer karena mempunyai sifat deformasi elastis. Sifat elastis (elastisitas) karet ditentukan oleh komposisi lateks dan cara pengolahan yang digunakan untuk mendapatkan karet alam mentah. Karet alam terdiri dari beberapa jenis, antara lain:

- Lateks yaitu cairan getah karet yang diperoleh dari karet kebun yang diberi antikoagulan berupa amoniak supaya tetap stabil dan tidak menggumpal. Untuk meningkatkan mutu lateks supaya lebih seragam, lateks tersebut dipekatkan. Proses pemekatan lateks ini terdiri dari beberapa metode, salah satunya menggunakan metode sentrifuse (pemusingan). Metode ini umumnya digunakan di Indonesia karena menghasilkan kapasitas produksi yang besar, viskositas lateks lebih rendah (tidak kental) dan menghasilkan lateks yang bersih (tidak tercampur endapan dan kotoran) (Diego YA, 2010)

- Karet remah atau karet bongkah. Menurut Satyamidjaja (1993), karet ini tidak digolongkan atas visualisasi semata, tapi berdasarkan sifat karet yang di uji di laboratorium. Karet ini di kemas dengan berat antara 33 kg atau 35 kg. Dalam proses pembuatan karet ini dengan cara disortasi, melakukan pembersihan dan pencampuran mikro. Untuk mempercepat proses pembentukan karet remah, pengeringan dilakukan pada temperatur 100°C-110°C. Di Indonesia penentuan kualitas karet remah berpedoman pada spesifikasi teknis *Standar Indonesia Rubber* (SIR). Berdasarkan standar ini, karet remah dikelompokan dalam 3 kelompok, yaitu SIR 5, SIR 10, dan SIR 20. Perbedaan SIR 5, SIR 10 dan SIR 20 adalah pada standar spesifikasi mutu kadar kotoran, kadar abu dan kadar zat menguapnya.
- *Ribbed Smoked Sheet* (RSS) adalah salah satu jenis produk olahan yang berasal dari karet alam yang diproses secara teknik mekanis dan kimiawi dengan pengeringan menggunakan rumah asap, sehingga dihasilkan lembaran karet tipis bergaris. Dengan Proses ini, dihasilkan mutu karet yang homogen dan konsisten. Prinsip pengolahan jenis karet ini adalah mengubah lateks kebun menjadi lembaran-lembaran (*sheet*) melalui proses penyaringan, pengenceran, pembekuan, penggilingan serta pengasapan. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi mutu akhir pada pengolahan RSS diantaranya adalah pembekuan atau koagulasi lateks, pengasapan dan pengeringan. Karet lembaran asap biasa digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan ban kendaraan bermotor.
- Crepes berasal dari lateks, lump karet atau RSS yang berkualitas rendah. Cara pembuatannya mirip dengan RSS, yang berbeda adalah menghilangkan warna cokelat tua dari karet kering. Kemudian hasilnya adalah karet yang berwarna putih. Selanjutnya digiling menggunakan mesin penggiling sehingga dihasilkan lembaran tipis yang dikenal dengan nama crepes. Berdasarkan proses dan bahan yang digunakanya karet alam crepes dapat dibedakan menjadi: *white crepes, estate brown crepes, thick blangket crepes, flat bark crepes pure smoked blangket crepes*, dan *off crepes*.

2.3 Aspal Karet *Masterbatch*

Masterbatch merupakan campuran induk karet aspal sebelum dicampur menjadi aspal karet. Pembuatan campuran induk karet aspal melalui proses mastikasi karet padat. Mastikasi adalah proses perlakuan pendahuluan terhadap karet yang bertujuan untuk melunakanya sehingga mudah bercampur dengan aspal. Pemutusan terjadi pada ikatan karbon dua rantai utama polimer isoprena. Pembuatan campuran induk karet aspal, dengan melakukan penggilingan karet padat dan aspal per 60 pada alat penggilingan terbuka dengan perbandingan karet padat dengan aspal per 60 berkisar 1:1.

2.4 Campuran Beraspal dengan Bahan Tambah Karet Alam

Dalam kegiatan pengembangan teknologi aspal karet, bahan acuan untuk pengujian agregat aspal dan campuran beraspal mengacu pada spesifikasi yang berlaku saat ini di Indonesia. Spesifikasi yang diacu untuk tiap pengujian bahan seperti diperlihatkan dalam pointer dibawah ini :

- Hasil pengujian aspal pen 60, aspal modifikasi elastomer sintetis mengacu pada Tabel 2.1 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Dokumen Pelelangan Nasional APBN TA 2010 (revisi.3), aspal modifikasi karet alam mengacu pada dan Tabel 2.2 sesuai Draf. Spesifikasi Khusus Laston Karet Alam.
- Gradasi agregat untuk perencanaan campuran beraspal panas mengacu pada Tabel 2.3 sesuai Draf Spesifikasi Khusus Laston Karet Alam.
- Ketentuan sifat campuran beraspal panas mengacu pada Tabel 2.4 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi-3 dan Tabel 2.5 sesuai Draf. Spesifikasi Khusus Laston Karet Alam

Tabel 2.1 Ketentuan aspal berdasarkan Spesifikasi Bina Marga TA 2010

| No. | Jenis pengujian | Metode pengujian | Spesifikasi | |
|---|---|---------------------|--------------------------|---|
| | | | Aspal tipe-I (pen 60) | Aspal tipe-II (aspal dimodifikasi elastomer sintetis) |
| 1. | Penetrasi pada 25 °C, (0,1 mm) | SNI 2456:2011 | 60 – 70 | Min. 40 |
| 2. | Viskositas dinamis 60 °C (Pa.s) | SNI 7729:2011 | 160 – 240 | 320 - 480 |
| 3. | Viskositas kinematik 135 °C (cSt) | SNI 6440-2000 | ≥ 300 | ≤ 3000 |
| 4. | Titik lembek (°C) | SNI 2434:2011 | ≥ 48 | ≥ 54 |
| 5. | Daktilitas pada 25 °C, (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 100 | ≥ 100 |
| 6. | Titik nyala (°C) | SNI 2433:2011 | ≥ 232 | ≥ 232 |
| 7. | Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ (%) | SNI 06-2438-1991 | ≥ 99 | ≥ 99 |
| 8. | Berat jenis | SNI 2441:2441 | ≥ 1,0 | ≥ 1,0 |
| 9. | Stailitas penyimpanan (°C) | ASTM D5976 part 6.1 | - | ≤ 2,2 |
| Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) | | | | |
| 10. | Berat yang hilang (%) | SNI 06-2440-1991 | ≤ 0,8 | ≤ 0,8 |
| 11. | Viskositas dinamis setelah kehilangan berat (Pa.s) | SNI 6440-2000 | ≤ 800 | ≥ 1600 |
| 12. | Penetrasi setelah kehilangan berat (%) | SNI 2456:2011 | ≥ 54 | ≥ 54 |
| 13. | Daktilitas setelah kehilangan berat (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 100 | ≥ 25 |
| 14. | Keelastisan setelah pengembalian | AASHTO T 301-98 | - | ≥ 60 |

Sumber; Spesifikasi Umum Bina Marga Dokumen Pelelangan Nasional APBN TA 2010 (revisi. 3)

Tabel 2.2 Ketentuan aspal berdasarkan Draf. Spesifikasi Laston Karet Alam

| No. | Jenis pengujian | Metode pengujian | Spesifikasi |
|---|---|---------------------|-------------|
| 1. | Penetrasi pada 25 °C, (0,1 mm) | SNI 2456:2011 | Min.50 |
| 2. | Viskositas kinematik 135 °C (cSt) | SNI 6440-2000 | ≤ 2000 |
| 3. | Titik lembek (°C) | SNI 2434:2011 | ≥ 52 |
| 4. | Daktilitas pada 25 °C, (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 100 |
| 5. | Titik nyala (°C) | SNI 2433:2011 | ≥ 232 |
| 6. | Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ (%) | SNI 06-2438-1991 | ≥ 99 |
| 7. | Berat jenis | SNI 2441:2441 | ≥ 1.0 |
| 8. | Stailitas penyimpanan (°C) | ASTM D5976 part 6.1 | ≤ 2.2 |
| Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) | | | |
| 9. | Berat yang hilang, (%) | SNI 06-2440-1991 | ≤ 0.5 |
| 10. | Penetrasi setelah kehilangan berat (%) | SNI 2456:2011 | ≥ 54 |
| 11. | Daktilitas setelah kehilangan berat (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 50 |
| 12. | Keelastisan setelah pengembalian | AASHTO T 301-98 | ≥ 30 |

Sumber; Draf Spesifikasi Khusus Laston Karet Alam

Tabel 2.3 Ketentuan gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal

| Ukuran saringan | | % Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran | | |
|-----------------|----------|--|----------|----------|
| | | Wearing | Binder | Base |
| 1,5" | 19 mm, | | | 100 |
| 1" | 19 mm, | | 100 | 90 – 100 |
| 3/4" | 19 mm, | 100 | 90 - 100 | 76 – 90 |
| 1/2" | 12,5 mm | 90 - 100 | 75 - 90 | 60 – 78 |
| 3/8" | 9,5 mm | 77 - 90 | 66 - 82 | 52 – 71 |
| No.4 | 4,75 mm | 53 - 69 | 46 - 64 | 35 – 54 |
| No.8 | 2,36 mm | 33 - 53 | 30 - 49 | 23 – 41 |
| No.16 | 1,18 mm | 21 - 40 | 18 - 38 | 13 – 30 |
| No.30 | 0,6 mm | 14 - 30 | 22 - 28 | 10 – 22 |
| No. 50 | 0,3 mm | 9 - 22 | 7 - 20 | 6 – 15 |
| No. 100 | 0,150 mm | 6 - 15 | 5 - 13 | 4 – 10 |
| No. 200 | 0,075 mm | 4 - 9 | 4 - 8 | 3 - 7 |

Sumber; Draf Spesifikasi Khusus Laston Karet Alam

Tabel 2.4 Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston

| Sifat Campuran | Laston (AC) | | |
|--|------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Lapis Aus (wearing) | Lapis antara (binder) | Pondasi (base) |
| 1. Rasio partikel lolos ayakan 0,75 mm dengan kadar aspal efektif, (%) | 1,0 – 1,4 | | |
| 2. Rongga dalam campuran, (%) | 3,0 -5,0 | | |
| 3. Rongga dalam agregat (VMA), (%) | 15 | 14 | 13 |
| 4. Rongga terisi aspal (VFB), (%) | 65 | 65 | 65 |
| 5. Stabilitas, (kg) | Min. 800 | | Min. 1800 |
| 6. Pelelehan, mm | 2,0 – 4,0 | | 3,0 – 6,0 |
| 7. Stabilitas marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam pada 60 °C, (%) | Min. 90 | | |
| 8. Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (refusal), (%) | Min. 2,0 | | |

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Dokumen Pelelangan Nasional APBN TA 2010 (revisi.3)

Tabel 2.5 Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston karet alam

| Sifat Campuran | Laston (AC) | | |
|--|------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Lapis Aus (wearing) | Lapis antara (binder) | Pondasi (base) |
| 1. Rasio partikel lolos ayakan 0,75 mm dengan kadar aspal efektif, (%) | 0,6 - 1,2 | | |
| 2. Rongga dalam campuran, (%) | 3,0 -5,0 | | |
| 3. Rongga dalam agregat (VMA), (%) | 15 | 14 | 13 |
| 4. Rongga terisi aspal (VFB), (%) | 65 | 65 | 65 |
| 5. Stabilitas, (kg) | Min. 900 | | Min. 2000 |
| 6. Pelelehan, mm | 2,0 – 5,0 | | 3,0 – 6,0 |
| 7. Stabilitas marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam pada 60 °C, (%) | Min. 90 | | |
| 8. Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (refusal), (%) | Min. 2,0 | | |
| 9. Stabilitas dinamis (lintasan/mm) | Min. 2000 | | |

Sumber ; Draf Spesifikasi Khusus Laston Karet Alam

2.5 Karakteristik campuran beraspal dengan aspal karet

Hasil pengkajian karakteristik campuran beraspal panas menggunakan alat marshall yang dilakukan di Laboratorium Pusjatan tahun 2016, menunjukkan adanya peningkatan kadar aspal optimum pada campuran beraspal yang menggunakan aspal karet baik pada campuran AC wearing, HRS senjang, maupun SMA. Hal ini dimungkinkan terjadi karena viskositas aspal yang dimodifikasi karet alam lebih tinggi dibandingkan aspal Pen. 60. Selain dari itu kemurnian aspal modifikasi karet alam lebih rendah dibandingkan dengan aspal Pen. 60 sehingga fungsi bitumen pada campuran beraspal menggunakan aspal aspal yang dimodifikasi karet alam lebih sedikit dibandingkan dengan aspal Pen. 60 pada volume aspal yang sama.

Hasil pengkajian karakteristik campuran beraspal juga menunjukkan, nilai stabilitas dari campuran menggunakan aspal karet cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal panas menggunakan aspal Pen. 60 baik pada campuran beraspal AC *wearing*, HRS senjang maupun SMA. Peningkatan nilai stabilitas yang paling tinggi dari ketiga campuran tersebut, yaitu pada campuran beraspal menggunakan aspal yang dimodifikasi karet alam padat. Hasil pengujian karakteristik campuran beraspal menggunakan alat marshall ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston karet alam

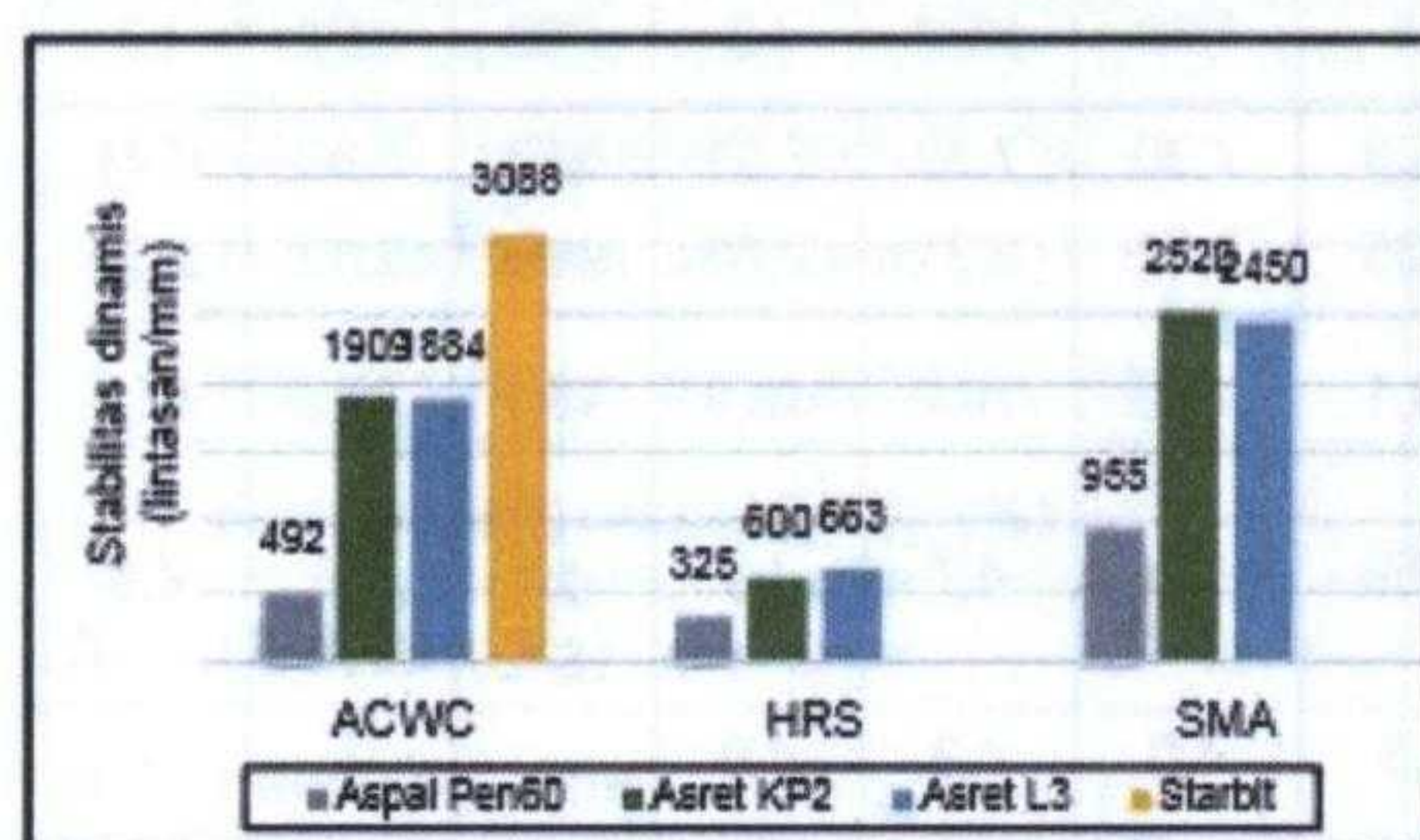
| No. | Karakteristik campuran | Tipe campuran | | | | | | | | |
|-----|--|---------------|----------|---------|----------|---------|--------|----------------------|---------|--------|
| | | Laston | | | Lataston | | | Split matrix asphalt | | |
| | | ACWC P60 | ACWC KP2 | ACWC L3 | HRS P60 | HRS KP2 | HRS L3 | SMA P60 | SMA KP2 | SMA L3 |
| 1. | Kadar aspal optimum, (%) | 6,03 | 6,13 | 6,08 | 7,30 | 7,33 | 7,31 | 6,43 | 6,50 | 6,44 |
| 2. | Kepadatan, (ton/m ³) | 2,35 | 2,35 | 2,35 | 2,31 | 2,31 | 2,30 | 2,34 | 2,32 | 2,35 |
| 3. | Rongga diantara agregat, (%) | 18,04 | 18,05 | 18,1 | 19,5 | 19,2 | 19,4 | 18,1 | 18,6 | 17,2 |
| 4. | Rongga terhadap campuran (marshall), (%) | 4,80 | 4,47 | 4,59 | 5,1 | 4,7 | 4,9 | 4,4 | 4,6 | 4,5 |
| 5. | Rongga terhadap campuran (PRD), (%) | 2,2 | 2,5 | 2,3 | 4,0 | 4,3 | 4,0 | - | - | - |
| 6. | Rongga teisi aspal, (%) | 76,3 | 75,3 | 73,6 | 73,9 | 75,6 | 74,5 | 75,3 | 75,1 | 74,1 |
| 7. | Stabilitas, (kg) | 986 | 1097 | 1049 | 1094 | 1315 | 1186 | 692 | 790 | 708 |
| 8. | Kelelahan, (mm) | 3,8 | 4,1 | 3,8 | 3,2 | 3,7 | 4,1 | 3,6 | 4,2 | 3,8 |

Hasil pengujian ketahanan terhadap deformasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.7 dan diperlihatkan pada Gambar 2.1, menunjukkan penggunaan aspal karet dalam campuran beraspal panas dapat meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi baik pada campuran AC *wearing*, HRS senjang, maupun SMA. Hal ini sejalan dengan pendapat Tuntiworawit (2005), bahwa penambahan karet

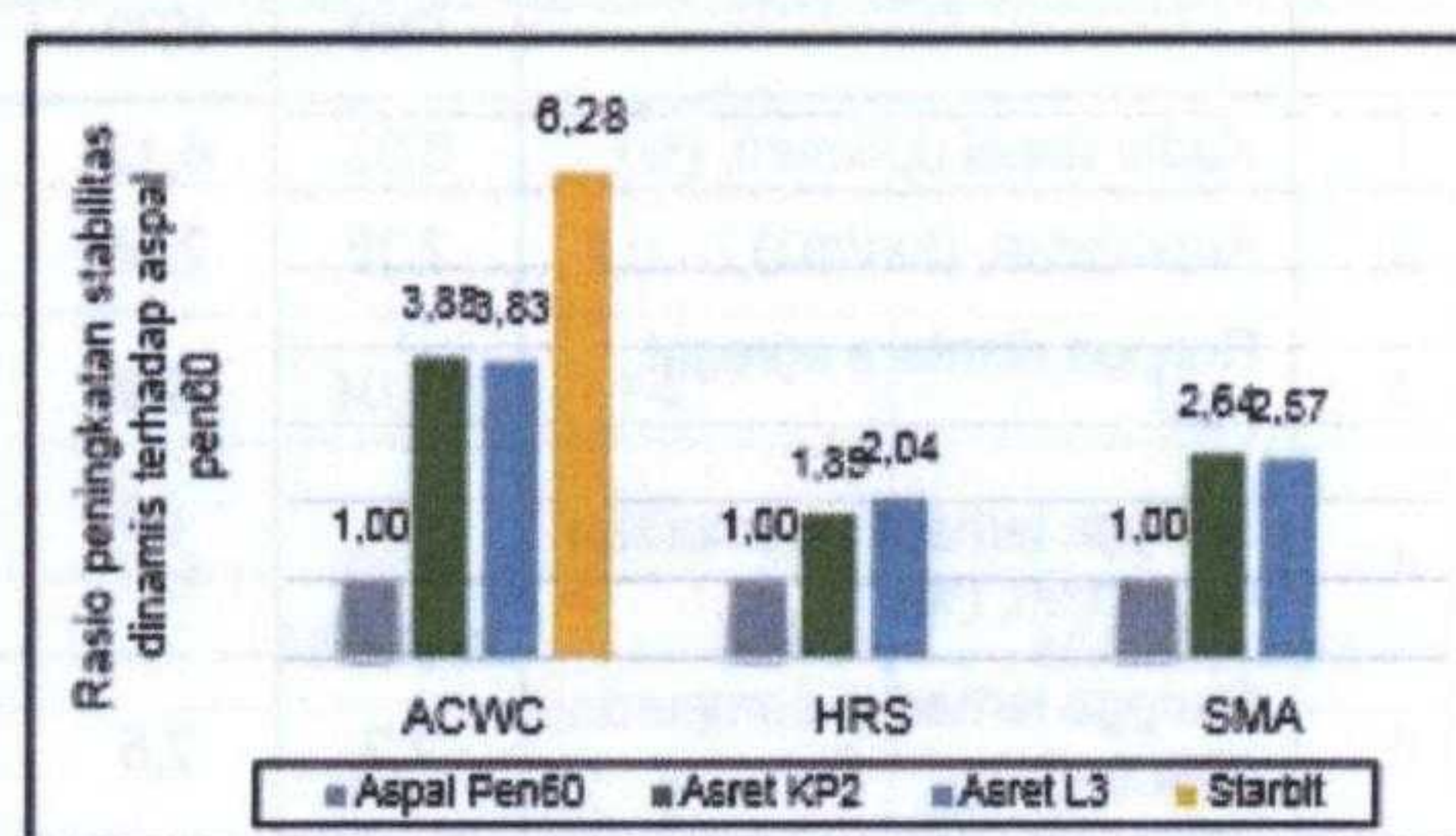
alam ke dalam aspal akan meningkatkan kekentalan aspal karet sehingga lebih tahan terhadap deformasi. Peningkatan ketahanan terhadap deformasi yang paling tinggi cenderung pada campuran beraspal menggunakan aspal yang dimodifikasi karet alam padat.

Tabel 2.7 Hasil pengujian ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi (WTM)

| No. | Jumlah passing | Tipe campuran | | | | | | | | | | Satuan |
|-----|---------------------|---------------|----------|---------|-------------|----------|---------|--------|----------------------|---------|--------|-------------|
| | | Laston | | | | Lataston | | | Split matrix asphalt | | | |
| | | ACWC P60 | ACWC KP2 | ACWC L3 | ACWC starit | HRS P60 | HRS KP2 | HRS L3 | SMAP 60 | SMA KP2 | SMA L3 | |
| 1. | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | mm |
| 2. | 21 | 1,26 | 1,30 | 0,85 | 0,83 | 1,31 | 0,80 | 0,93 | 1,17 | 0,56 | 0,79 | mm |
| 3. | 105 | 2,30 | 2,00 | 1,41 | 1,39 | 2,16 | 1,50 | 1,62 | 1,86 | 0,99 | 1,64 | mm |
| 4. | 210 | 3,04 | 2,77 | 1,80 | 1,76 | 2,75 | 2,08 | 2,03 | 2,29 | 1,24 | 2,02 | mm |
| 5. | 315 | 3,62 | 3,11 | 2,06 | 1,95 | 3,21 | 2,42 | 2,38 | 2,61 | 1,42 | 2,27 | mm |
| 6. | 630 | 5,12 | 3,78 | 2,67 | 2,30 | 4,51 | 3,21 | 3,09 | 3,26 | 1,74 | 2,75 | mm |
| 7. | 945 | 6,52 | 4,21 | 3,15 | 2,58 | 6,04 | 3,86 | 3,84 | 3,72 | 1,95 | 3,12 | mm |
| 8. | 1260 | 7,81 | 4,54 | 3,48 | 2,78 | 7,98 | 4,91 | 4,79 | 4,08 | 2,20 | 3,38 | mm |
| 9. | Kecepatan deformasi | 0,086 | 0,022 | 0,022 | 0,014 | 0,129 | 0,070 | 0,060 | 0,024 | 0,017 | 0,017 | mm/menit |
| 10. | Stabilitas dinamis | 492 | 1909 | 1884 | 3088 | 325 | 600 | 663 | 1755 | 2520 | 2450 | lintasan/mm |



a



b

Gambar 2.1. Ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi (a) dan rasio peningkatan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi (b)

Salah satu penyebab penurunan ketahanan lelah campuran beraspal pada perkerasan lentur adalah proses penuaan. Penuaan menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal, selanjutnya akan meningkatkan kekakuan dan akhirnya akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal. Untuk mensimulasikan proses penuaan

jangka pendek di laboratorium (*short term aging*) dengan cara mengkondisikan benda uji di dalam oven selama 4 jam pada temperatur 135°C. Hasil pengujian sifat fisik aspal hasil ekstraksi dari campuran beraspal yang telah dikondisikan *aging* menunjukkan, proses penuaan aspal yang dimodifikasi karet alam lebih lambat dibandingkan dengan aspal pen 60 pada campuran beraspal. Hal ini mungkin terjadi karena, sebagian dari minyak ringan pada aspal karet telah diserap dan diikat oleh molekul karet alam pada saat dispersi, sehingga volume minyak ringan yang dapat menguap akibat pengkondisian *short term aging* dalam aspal karet lebih sedikit.

2.6 Hasil Kajian Laboratorium Pencampuran Aspal dengan Karet

Pada kegiatan pengembangan teknologi aspal karet yang dilaksanakan Tahun 2015, telah didapat kondisioning pencampuran aspal karet menggunakan kompon karet padat semi EV (KP2). Hasil kajian menunjukkan, untuk mendapatkan aspal karet yang homogen dan terdispersi dengan baik, aspal harus dicampur dengan kompon karet padat pada temperatur 150°C – 160°C selama 25 menit menggunakan alat pencampur tipe L5-LA dari silverson dengan kecepatan putaran 6000 rpm. Pada tahun yang sama juga telah dicoba mencampur aspal karet (KP2) dengan kondisioning yang sama, tapi pengaduknya diganti model baling-baling. Berdasarkan hasil pencampuran tersebut, ternyata kompon karet padatnya tidak dapat bercampur dan terdispersi baik dengan aspal. Untuk mendapatkan kondisioning pencampuran aspal karet menggunakan karet alam padat dalam bentuk *masterbatch*, dicoba lagi mencampur aspal karet dengan kadar karet 7% menggunakan *mixer* baling-baling pada temperatur 150°C – 160°C dengan memvariasikan waktu pencampuran dan kecepatan putaran baling-baling. Dari hasil pencampuran tersebut, selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisik aspal yaitu: penetrasi, titik lembek dan daktilitas.

Hasil pengujian sifat fisik aspal karet yang dipengaruhi waktu dan kecepatan putaran balingbaling *mixer* disajikan pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9.

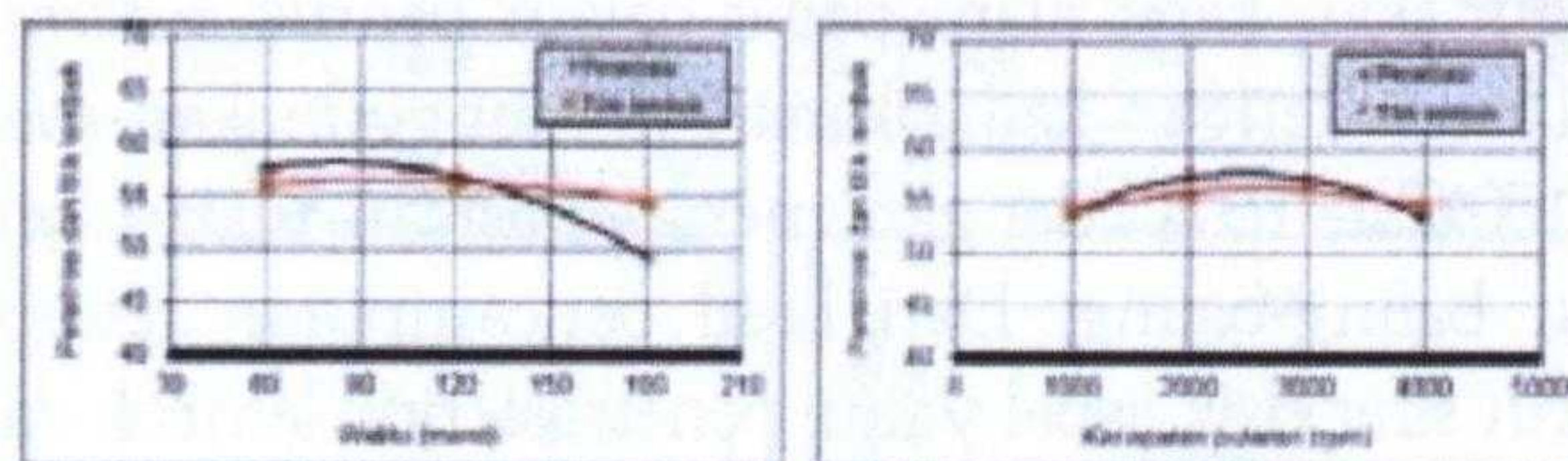
Tabel 2.8 Sifat fisik aspal karet hasil percobaan variasi waktu pencampuran

| No. | Uraian | Temperatur (°C) | Waktu (menit) | Kecepatan (rpm) | Hasil pengujian | | |
|-----|---|-----------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| | | | | | Penetrasi (0,1 mm) | Titik lembek (°C) | Daktilitas (cm) |
| 1 | Kadar karet dalam <i>Masterbatch</i> sebesar 7% | 150 | 60 | 2000 | 58 | 56 | 140 |
| 2 | | | 120 | | 57 | 56 | 140 |
| 3 | | | 180 | | 49 | 55 | 140 |

Tabel 2.9 Sifat fisik aspal karet hasil percobaan variasi kecepatan putaran pengaduk baling-baling

| No. | Uraian | Temperatur (°C) | Waktu (menit) | Kecepatan (rpm) | Hasil pengujian | | |
|-----|---|-----------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| | | | | | Penetrasi (0,1 mm) | Titik lembek (°C) | Daktilitas (cm) |
| 1. | Kadar karet dalam <i>Masterbatch</i> sebesar 7% | 150 | 90 | 1000 | 54 | 54 | 140 |
| 2. | | | | 2000 | 58 | 55 | 140 |
| 3. | | | | 3000 | 57 | 56 | 140 |
| 4. | | | | 4000 | 54 | 54 | 140 |

Homogenitas dan dispersi *masterbatch* dalam aspal pada saat pencampuran aspal karet sangat dipengaruhi oleh jenis dan bentuk *mixer* alat pencampur. Untuk mendapatkan hasil pencampuran aspal karet yang homogen di laboratorium yang lebih mendekati kondisi alat pencampur di lapangan, telah dicoba melakukan pencampuran aspal karet menggunakan mesin tipe L5 M-A dari silverson dengan mengganti *mixer*-nya menjadi model baling-baling. Dalam percobaan ini, temperatur pencampuran ditetapkan sesuai waktu matangnya vulkanisasi karet, yaitu pada temperatur 150°C – 160°C. Kadar karet alam dalam *masterbatch* yang digunakan juga ditetapkan sebesar 7%. Hasil pengujian karakteristik aspal karet yang dipengaruhi oleh waktu pencampuran dan kecepatan putaran *mixer* diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Grafik hubungan waktu dan kecepatan putaran *mixer* dengan karakteristik aspal karet *masterbatch*

Berdasarkan Gambar 2.2 juga terlihat bahwa waktu pencampuran dan kecepatan putaran *mixer* dapat mempengaruhi karakteristik aspal karet. Dengan bertambahnya waktu pencampuran, kekerasan aspal karet meningkat, hal ini digambarkan dengan penurunan nilai penetrasi yang semula 58 dmm menjadi 49 dmm setelah melewati waktu pencampuran 180 menit. Hal ini sangat dimungkinkan terjadi karena semakin lama waktu pencampuran aspal karet, dispersi karet alam semakin baik. Sedangkan terhadap nilai titik lembek, lamanya waktu pencampuran tidak berpengaruh signifikan. Nilai penetrasi dan titik lembek juga dipengaruhi oleh kecepatan putaran *mixer* pencampur aspal karet. Pengaruh kecepatan putaran terhadap nilai penetrasi, hampir sejalan dengan pengaruhnya terhadap nilai titik lembek. Baik nilai penetrasi ataupun titik lembek, pada kecepatan putaran *mixer* 1000 rpm ke 2000 rpm mengalami peningkatan, dan dari 2000 rpm ke 3000 rpm nilainya

relatif sama. Sedangkan dari kecepatan putaran 3000 rpm ke 4000 rpm, nilai penetrasi dan titik lembek mengalami penurunan kembali. Berdasarkan hasil percobaan di atas, dengan mempertimbangkan pengaruh waktu pencampuran dan kecepatan putaran *mixer* terhadap nilai penetrasi dan titik lembek, maka kondisioning pencampuran aspal karet menggunakan karet alam padat dalam bentuk *masterbatch* ditetapkan sebagai berikut; temperatur pencampuran 150°C – 160°C, waktu pencampuran 90 menit dan kecepatan putaran *mixer* 2500 rpm. Berdasarkan hasil percobaan di atas juga, dapat menjadi pertimbangan bahwa pencampuran aspal karet menggunakan karet alam padat dalam bentuk *masterbatch* dapat dicampur menggunakan alat pencampur *mixer* yang biasa ada di pasaran. Hal ini karena karet alam padat dalam bentuk *masterbatch* lebih mudah dicampur dengan aspal. Ketika *masterbatch* dicampur dengan aspal pada temperatur 150°C, setiap molekul aspal yang diselimuti karet alam padat dalam *masterbatch* akan meleleh/mencair dan mendorong molekul karet padat untuk lepas dari ikatan karet padat yang lainnya. Sehingga seiring dengan berjalanya waktu pencampuran, molekul-molekul/butiran karet padat yang menyelimuti aspal dalam *masterbatch* semuanya akan terurai dan terdispersi kedalam aspal panas.

2.7 Pengujian Sifat Fisik Aspal Karet *Masterbatch*

Aspal setelah ditambah karet alam akan berubah sifat-sifatnya. Perubahan tersebut disebabkan karena karet alam tersebut termasuk polimer elastomer dari senyawa hidrokarbon 2-metil-butadiene (isoprena). Untuk mengetahui pengaruh penambahan karet alam *masterbatch* terhadap perubahan sifat aspal, aspal yang telah ditambah karet alam mulai dari 5% sampai dengan 11% selanjutnya dilakukan pengujian sesuai Rancangan Spesifikasi Laston dengan Aspal Mengandung Karet Alam. Hasil pengujian sifat aspal karet yang dipengaruhi kadar karet dalam *masterbatch* disajikan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Sifat fisik aspal karet yang dipengaruhi kadar karet *masterbatch*

| No. | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | | | | |
|--|---|----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | Aspal pen 60 | KP2M5 | KP2M7 | KP2M9 | KP2M11 |
| 1. | Penetrasi pada 25 oC. (0,1 mm) | SNI 2456:2011 | 63 | 59 | 57 | 49 | 47 |
| 2. | Viskositas kinematik 135 oC (cSt) | SNI 6440-2000 | 450 | 1288 | 1740 | 2013 | - |
| 3. | Titik lembek (°C) | SNI 2434:2011 | 48,7 | 53,5 | 55,4 | 59 | 60,1 |
| 4. | Indeks Penetrasi | - | -0,967 | 0,046 | 0,392 | 0,777 | 0,895 |
| 5. | Daktilitas pada 25 oC, (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 140 | >140 | ≥ 140 | >140 | 98,5 |
| 6. | Titik nyala (°C) | SNI 2433:2011 | 328 | 318 | 310 | 328 | 320 |
| 7. | Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ (%) | SNI 06-2438-1991 | 99,81 | 99,85 | 99,29 | 99,73 | 99,27 |
| 8. | Berat jenis | SNI 2441:2441 | 1,035 | 1,034 | 1035 | 1,032 | 1,036 |
| 9. | Stabilitas penyimpanan : perbedaan titik lembek (oC) | ASTM D 5976 part.6.1 | - | 0,7 | 1,0 | 0,7 | 1,1 |
| Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) | | | | | | | |
| 10. | Kehilangan berat (%) | SNI 06-2440-1991 | 0,0196 | 0,0129 | 0,0312 | 0,0296 | 0,0288 |
| 11. | Penetrasi setelah kehilangan berat (% asli) | SNI 2456:2011 | 82,1 | 90,3 | 96,1 | 93,5 | 94,6 |
| 12. | Daktilitas setelah kehilangan berat (cm) | SNI 2432:2011 | >140 | >140 | >140 | >140 | 103,5 |
| 13. | Elastisitas pengembalian setelah kehilangan berat (%) | AASHTO T 301-98 | 10,8 | 22,5 | 25,8 | 25,6 | 27,5 |

Berdasarkan analisis (pada bagian bawah) terhadap hasil pengujian aspal karet menggunakan karet alam *masterbatch*, rentang penambahan kadar karet yang optimal sebagai modifier aspal adalah 5% sampai 9%. Oleh karena itu, penggunaan aspal karet yang diperkirakan efektif hanya pada kadar karet alam *masterbatch* 5%, 7% dan 9% saja.

2.8 Pengujian Karakteristik Aspal Karet menggunakan Marshall

Sebagai dasar penyiapan dan pengujian kinerja campuran beraspal menggunakan aspal karet, sebelumnya dilakukan pengujian karakteristik campuran menggunakan metode *marshall*. Pengujian karakteristik campuran meliputi semua parameter yang disyaratkan dalam Rancangan Spesifikasi Laston dengan Aspal yang Mengandung Karet Alam. Hasil pengujian karakteristik campuran beraspal panas menggunakan metode *marshall* disajikan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Perbandingan Karakteristik Campuran Panas Standar dan Penambahan Karet

| No. | Kriteria campuran | Jenis Campuran | | | |
|-----|---|----------------|-------------|-------|-------|
| | | ACWC Standar | AC-WC Asret | | |
| | | | 5% | 7% | 9% |
| 1. | Kadar aspal optimum, (%) | 5,8 | 5,9 | 5,9 | 6,0 |
| 2. | Kepadatan, (ton/m ³) | 2,389 | 2,370 | 2,376 | 2,375 |
| 3. | Rongga diantara agregat, (%) | 15,82 | 15,84 | 15,60 | 15,68 |
| 4. | Rongga terhadap campuran (<i>marshall</i>), (%) | 3,8 | 3,97 | 3,85 | 3,81 |
| 5. | Rongga terhadap campuran (PRD), (%) | 2,80 | 2,65 | 2,45 | 2,99 |
| 6. | Rongga teisi aspal, (%) | 76,26 | 74,91 | 75,39 | 75,66 |
| 7. | Stabilitas, (kg) | 1100 | 1188 | 1299 | 1297 |
| 8. | Kelelehan, (mm) | 4,11 | 4,39 | 4,46 | 5,04 |
| 9. | Marshall quotient, (kg/mm) | 272,5 | 272,7 | 297,7 | 262,3 |
| 10. | Rasio abu terhadap aspal | 1,17 | 1,26 | 1,27 | 1,26 |

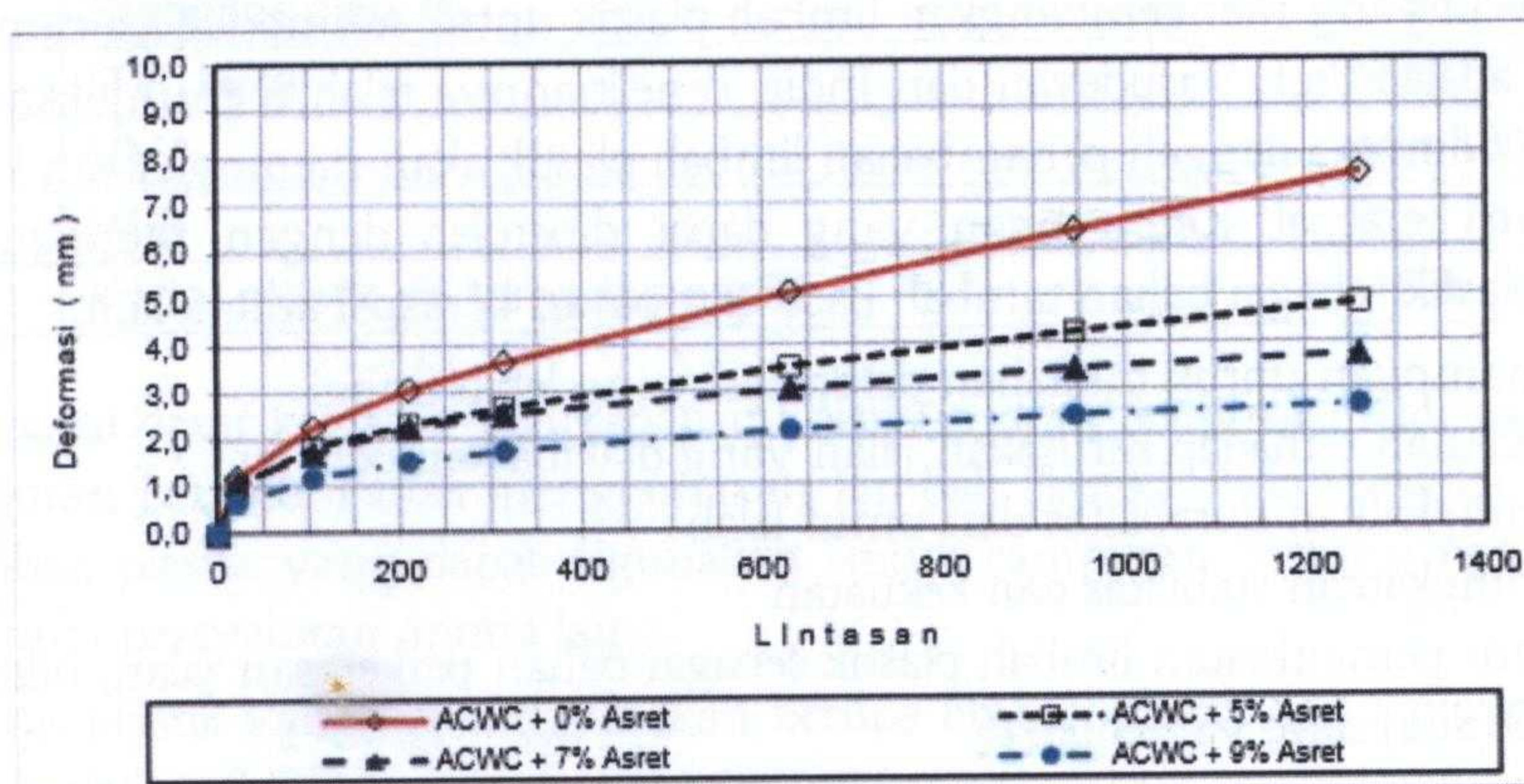
2.9 Pengujian stabilitas dinamis Aspal Karet dengan alat WTM

Untuk mengetahui ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen yang dipengaruhi karet alam *masterbatch*, maka dilakukan pengujian *wheel tracking*. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, selanjutnya ditinjau terhadap tiga parameter. Ketiga parameter tersebut yaitu: parameter stabilitas dinamis (*Dinamic Stability*), kecepatan deformasi (*Rate of Deformation*), dan deformasi permanen.

Pengujian stabilitas dinamis dilakukan pada campuran yang menggunakan aspal Pen. 60 dan aspal karet *masterbatch* dengan kandungan karet alam sebesar 5%, 7% dan 9% teradap berat aspal. Hasil pengujian *wheel tracking* disajikan pada Tabel 2.12 dan Gambar 2.3.

Tabel 2.12 Hasil Uji Ketahanan terhadap Deformasi

| Kriteria WTM | Hasil pengujian | | | |
|----------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| | ACWC 0% Asret | ACWC 5% Asret | ACWC 7% Asret | ACWC 9% Asret |
| DD (mm) | 2,84 | 2,57 | 2,14 | 1,77 |
| Kecepatan deformasi (mm/menit) | 0,079 | 0,040 | 0,020 | 0,01 |
| Stabilitas dinamis (lintasan/mm) | 529 | 1041 | 2136 | 2864 |



Gambar 2.3. Grafik Kedalamam Deformasi Hasil Pengujian WTM

Efektifitas peningkatan stabilitas *marshall* terjadi pada campuran aspal karet dengan kadar karet alam sampai 7% yaitu sebesar 1299 kg yang sebelumnya hanya 1100 kg pada campuran dengan aspal Pen. 60. Sedangkan terhadap nilai stabilitas dinamis, campuran yang memenuhi persyaratan rancangan spesifikasi laston dengan aspal yang mengandung karet alam mulai kadar karet 7% yaitu sebesar 2136 lintasan/mm. Penggunaan aspal karet dengan kadar karet 7% juga dapat meningkatkan umur kelelahan campuran AC *wearing* sebesar 2,3 kali terhadap campuran dengan aspal Pen. 60. Berdasarkan hasil pengujian campuran beraspal, penggunaan karet alam *masterbatch* yang optimal untuk modifikasi aspal terjadi pada kadar karet 7%. Bertitik tolak dari hasil pengujian di atas, untuk penerapan di lapangan penggunaan karet alam ditetapkan sebesar 7%.

2.10 Campuran Beraspal dengan Bahan Tambah Limbah Plastik

Plastik adalah bahan yang sangat serbaguna dan banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari. Saat ini plastik menjadi bahan baku yang lebih murah dan efektif. Setiap sektor dari kehidupan manusia banyak menggunakan plastik mulai dari kemasan, mobil, elektronik, listrik, konstruksi bangunan, komunikasi, dll. Plastik bersifat *non-biodegradable* sehingga limbah plastik tidak dapat terdegradasi selama 4.500 tahun. Akibatnya lingkungan menjadi tercemar apabila limbah plastik tersebut tidak ditangani secara benar. Salah satu modifier yang banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas campuran beraspal adalah polimer. Sementara plastik merupakan bahan yang mengandung senyawa polimer. Sehingga limbah plastik berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal. Salah satu peneliti yang mengembangkan limbah plastik untuk memodifikasi campuran beraspal adalah Prof. Vasudevan dari India. Penelitiannya telah menunjukkan hasil yang baik dimana dengan penambahan limbah plastik akan meningkatkan kualitas campuran beraspal. Keuntungan yang dapat diperoleh dengan menggunakan limbah plastik sebagai bahan tambah pada campuran beraspal antara lain:

- Kemampuan untuk menahan deformasi yang lebih tinggi
- Ketahanan terhadap kerusakan jalan yang diakibatkan oleh air
- Meningkatkan durabilitas dan umur lelah
- Meningkatkan stabilitas dan kekuatan

Dalam pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan perkerasan jalan, dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu:

- Wet process*, limbah plastik digunakan sebagai bahan modifikasi aspal
- Dry process*, limbah plastik digunakan sebagai bahan modifikasi agregat

Pada metode *wet process* limbah plastik digunakan sebagai bahan tambah untuk memodifikasi aspal sehingga kualitas aspalnya menjadi lebih baik. Sedangkan metode *dry process* limbah plastik digunakan sebagai bahan modifikasi agregat. Metode pemanfaatan limbah plastik dengan cara *dry process* diilustrasikan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Ilustrasi Metode Pencampuran *Dry Process*

Di India teknologi pemanfaatan limbah plastik ini sudah banyak diterapkan. Spesifikasi untuk jalan dengan limbah plastik yang mereka gunakan adalah IRC:SP:98-2013 "*Guidelines For The Use of Waste Plastic in Hot Bituminous Mixes (Dry Process) in Wearing Courses*". Adapun spesifikasi dari campuran beraspalnya adalah sesuai dengan Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Spesifikasi Campuran beraspal dengan limbah plastik IRC:SP:98-2013

| No | Sifat Campuran | Spesifikasi |
|----|---------------------------------|-------------|
| 1 | Stabilitas, kN pada 600c | Min 12,0 |
| 2 | Pelelehan (flow), mm | 2 – 4 |
| 3 | Marshall Quotient (kN/mm) | 2,5- 5 |
| 4 | Jumlah tumbukan per bidang | 75 |
| 5 | Rongga dalam campuran, % | 3 – 5 |
| 6 | Stabilitas sisa, % | 98 |
| 7 | ITS, MPa | Min 0,9 |
| 8 | VMA | Min 16 |
| 9 | VFB | 65 – 75 |
| 10 | Kadar plastik, % terhadap aspal | 6-8 |

Sebagai dasar kegiatan penerapan ini disusun draft Spesifikasi Khusus Interim "Campuran Beraspal Panas menggunakan Limbah Plastik". Pada spesifikasi khusus ini limbah plastik yang dapat digunakan untuk campuran beraspal panas harus memenuhi persyaratan antara lain :

- Jenis plastik yang dapat digunakan berupa limbah plastik dari jenis *low density polyethylene* (LDPE).
- Limbah plastik yang digunakan harus hasil olahan yang telah dipilah, dicacah dan dicuci.
- Cacahan limbah plastik yang digunakan harus kering, bersih dan terbebas dari bahan organik atau bahan yang tidak dikehendaki.
- Penggunaan limbah plastik dari 4% sampai dengan 6% terhadap berat aspal. Penggunaan yang lebih dari 6% harus mendapat persetujuan dari direksi pekerjaan

Persyaratan terhadap kriteria limbah plastik yang telah dicacah adalah sesuai dengan Tabel 2.14

Tabel 2.14 Ketentuan Limbah Plastik Hasil Cacahan

| Pengujian | Persyaratan |
|---|-------------|
| Ukuran butir lolos saringan 3/8 inch (9,5 mm) % | 100 |
| Ukuran butir lolos saringan No 4 (4,75 mm) % | 90 |
| Ketebalan (mm) | Maks. 0,07 |
| Kadar air (%) | Maks. 5 |
| Titik leleh (°C) | 100 - 120 |

Pada Spesifikasi Khusus ini juga di mengenai ketentuan campuran beraspalnya mengikuti persyaratan Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 pasal 6.3.3.3) dan Tabel 2.15 untuk campuran Laston serta Tabel 2.16 untuk campuran Laston.

Tabel 2.15 Ketentuan Sifat Campuran Beraspal Panas Laston Limbah Plastik

| Sifat-sifat Campuran | | Laston Limbah Plastik (HRS _{LP}) | |
|--|------|--|---------------|
| | | Lapis Aus | Lapis Pondasi |
| | | Semi Senjang | Semi Senjang |
| Kadar Aspal Efektif | Min | 5,9 | 5,9 |
| Penyerapan | Maks | 1,7 | |
| Jumlah tumbukan per bidang | | 75 | |
| Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾ | Min | 3 | |
| | Maks | 5 | |
| Rongga dalam agregat (VMA) (%) | Min | 18 | 17 |
| Rongga terisi aspal (%) | Min | 68 | |
| Stabilitas Marshall (kg) | Min | 800 | |
| Pelelehan (mm) | Min | 2 | |
| | Maks | 4 | |
| Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ⁽³⁾ | Min | 90 | |

Tabel 2.16 Ketentuan Sifat Campuran Beraspal Panas Laston Limbah Plastik

| Sifat-sifat Campuran | | Laston Limbah Plastik (AC _{LP}) | | |
|---|------|---|----|--------------------|
| Jumlah tumbukan per bidang | | 75 | | 112 ⁽¹⁾ |
| Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif | Min | 0,6 | | |
| | Maks | 1,4 | | |
| Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾ | Min | 3,0 | | |
| | Maks | 5,0 | | |
| Rongga dalam agregat (VMA) (%) | Min | 15 | 14 | 13 |
| Rongga terisi aspal (%) | Min | 65 | 65 | 65 |
| Stabilitas Marshall (kg) | Min | 900 | | 2000 |
| Pelelehan (mm) | Min | 2 | | 3 |
| | Maks | 4 | | 6 |
| Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selaman 24 jam, 60°C ⁽³⁾ | Min | 90 | | |

Catatan :

1. Modifikasi Marshall sesuai ASTM D 5581-07a (diameter benda uji 15 cm) atau lihat lampiran 6.3.B pada Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3.
2. Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran (Pengujian GMM sesuai SNI 03-6893-2002)
3. Direksi Pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-89 sebagai alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengkondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Nilai *Indirect Tensile Strength Retained* (ITSR) minimum 80% pada VIM (Rongga dalam Campuran) $7\% \pm 0,5\%$. Untuk mendapatkan VIM $7\% \pm 0,5\%$, buatlah benda uji Marshall dengan variasi tumbukan pada kadar aspal optimum, misal 2x40, 2x50, 2x60, 2x75 tumbukan. Kemudian dari setiap benda uji tersebut hitung nilai VIM dan buat hubungan antara jumlah tumbukan dan VIM. Dari grafik tersebut dapat diketahui jumlah tumbukan yang memiliki nilai VIM $7\% \pm 0,5\%$, kemudian lakukan pengujian ITSR untuk mendapatkan *Indirect Tensile Strength Retained* (ITSR) sesuai SNI 6753:2008 atau AASHTO T283-07 tanpa pengkondisian $18 \pm 3^\circ\text{C}$

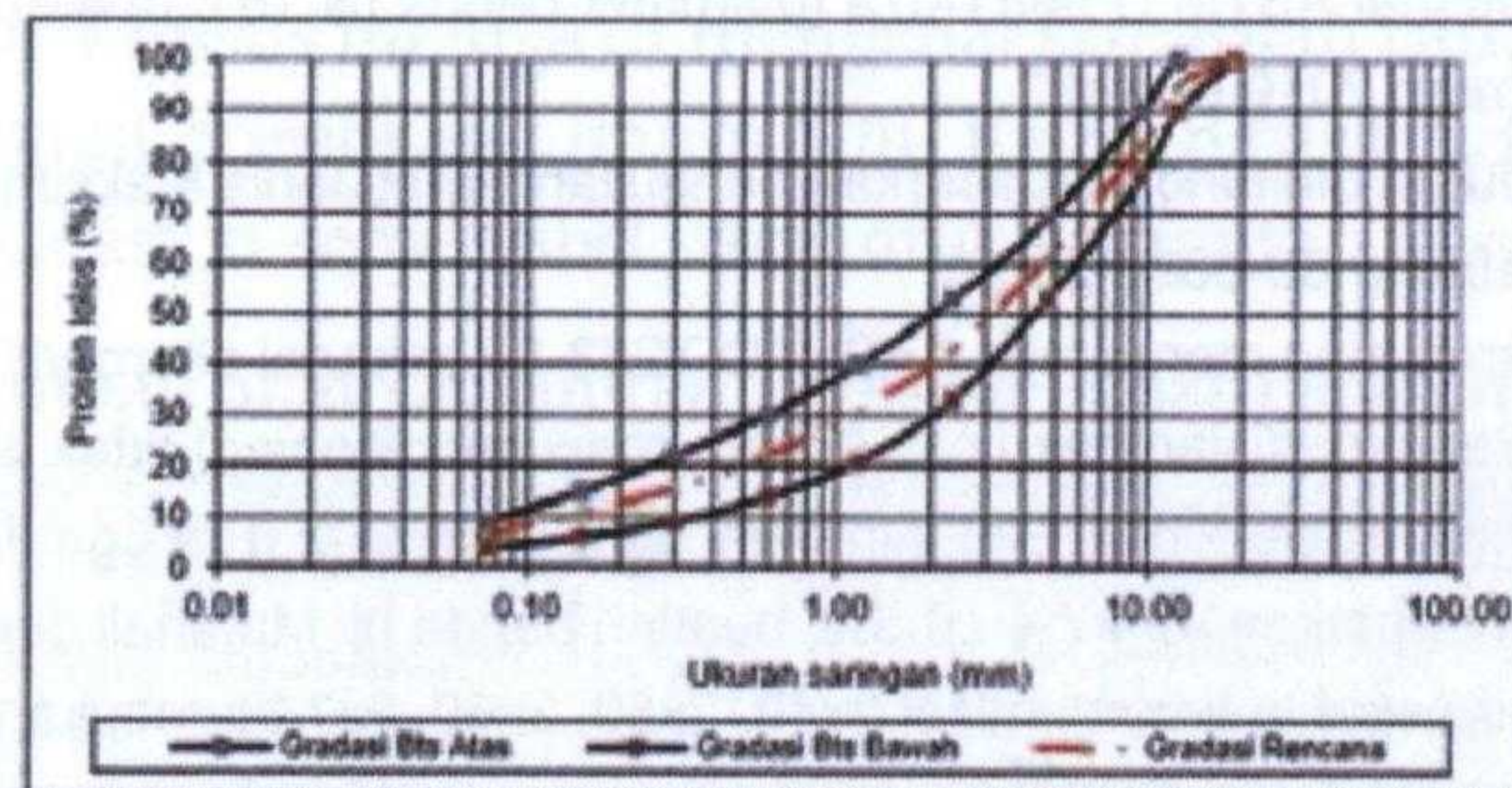
2.11 Hasil Kajian Laboratorium Campuran Beraspal Limbah Plastik

Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik terhadap karakteristik campuran beraspal di laboratorium, pengujian yang dilakukan meliputi: pengujian karakteristik campuran menggunakan alat marshall, pengujian ketahanan campuran terhadap deformasi menggunakan alat *wheel tacking machine* (WTM), pengujian kekakuan campuran beraspal (*modulus resilient*), dan pengujian kelelahan campuran beraspal (*fatigue*). Dalam perencanaan campuran beraspal panas ini gradasi yang digunakan adalah laston AC *Wearing*. Gradasi agregat yang direncanakan menggunakan gradasi tengah (ideal) diantara batas atas dan batas bawah. Untuk memenuhi gradasi tengah tersebut, agregat yang akan digunakan disiapkan/dipisahkan sesuai ukuran saringan yang tertera dalam spesifikasi. Gradasi campuran beraspal yang direncanakan, untuk campuran AC-*Wearing* disajikan pada Tabel 2.17 dan Gambar 2.5.

Tabel 2.17 Ketentuan Sifat Campuran Beraspal Panas Laston Limbah Plastik

| Ukuran Saringan | Spek. Gradasi Campuran *) | | Gradasi Rencana | Satuan |
|--------------------|---------------------------|------------|-----------------|---------|
| | Batas bawah | Batas atas | | |
| 3/4" (19,1 mm) | 100 | 100 | 100 | % lolos |
| 1/2" (12,7 mm) | 90 | 100 | 95 | % lolos |
| 3/8" (9,52 mm) | 77 | 90 | 84 | % lolos |
| No. 4 (4,75 mm) | 53 | 69 | 61 | % lolos |
| No. 8 (2,36 mm) | 33 | 53 | 43 | % lolos |
| No. 16 (1,18 mm) | 21 | 40 | 31 | % lolos |
| No. 30 (0,60 mm) | 14 | 30 | 22 | % lolos |
| No. 50 (0,30 mm) | 9 | 22 | 16 | % lolos |
| No. 100 (0,150 mm) | 6 | 15 | 11 | % lolos |
| No. 200 (0,075 mm) | 4 | 9 | 6,5 | % lolos |

Sumber : *) Spesifikasi Umum Bina Marga Dokumen Pelelangan Nasional APBN TA 2010 (revisi.3)



Gambar 2.5. Grafik Gradasi Gabungan Agregat Campuran AC-Wearing

Berdasarkan gradasi gabungan tersebut selanjutnya dilakukan pengujian *marshall*. Sebagai dasar penyiapan dan pengujian kinerja campuran beraspal menggunakan limbah plastik, sebelumnya dilakukan pengujian karakteristik campuran menggunakan metode *marshall*. Percobaan dilakukan terhadap empat variasi kadar limbah plastik, yaitu 5%, 6%, 8% dan 9% terhadap berat aspal. Hasil pengujian karakteristik campuran beraspal panas menggunakan alat *marshall* disajikan pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran dengan Alat Marshall

| No. | Kriteria campuran | Campuran AC-WC menggunakan limbah plastik | | | | |
|-----|--|---|-------|-------|-------|-------|
| | | 0% | 5% | 6% | 8% | 10% |
| 1. | Kadar aspal optimum, (%) | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 |
| 2. | Kepadatan, (ton/m ³) | 2,369 | 2,357 | 2,363 | 2,364 | 2,345 |
| 3. | Rongga diantara agregat, (%) | 15,82 | 15,89 | 15,74 | 15,66 | 16,34 |
| 4. | Rongga terhadap campuran (marshall), (%) | 3,8 | 3,71 | 3,89 | 4,02 | 3,7 |
| 5. | Rongga teisi aspal, (%) | 76,26 | 76,83 | 76,00 | 74,40 | 77,35 |
| 6. | Stabilitas, (kg) | 1100 | 1424 | 1486 | 1534 | 1528 |
| 7. | Kelelahan, (mm) | 4,11 | 3,59 | 4,1 | 4,2 | 4,14 |
| 8. | Marshall quotient, (kg/mm) | 272,5 | 401,9 | 366,6 | 367,6 | 371,8 |
| 9. | Rasio abu terhadap aspal | 1,17 | 1,22 | 1,26 | 1,28 | 1,17 |

2.12 Pengujian Karakteristik Campuran Beraspal Limbah Plastik

Untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal setelah ditambah limbah plastik, pada masing masing kadar aspal optimum selanjutnya dilakukan pengujian stabilitas marshall sisa, pengujian *indirect tensile strength ratio* (ITSR) dan pengujian cantambroo. Pengujian stabilitas rendaman sisa untuk mengetahui kekuatan campuran akibat peredaman air yang dilakukan sesuai metode AASHTO T 245-97, pengujian kuat tarik tak langsung (*indirect tensile strength ratio*) untuk mengetahui kekuatan campuran akibat pengaruh air yang dilakukan sesuai SNI 6753:2008. Sedangkan pengujian cantambroo adalah untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pelepasan butir yang dilakukan sesuai ASTM D 7064. Hasil pengujian

durabilitas pada campuran beraspal panas menggunakan limbah plastik disajikan pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Durabilitas Campuran AC-WC yang Dipengaruhi Limbah Plastik

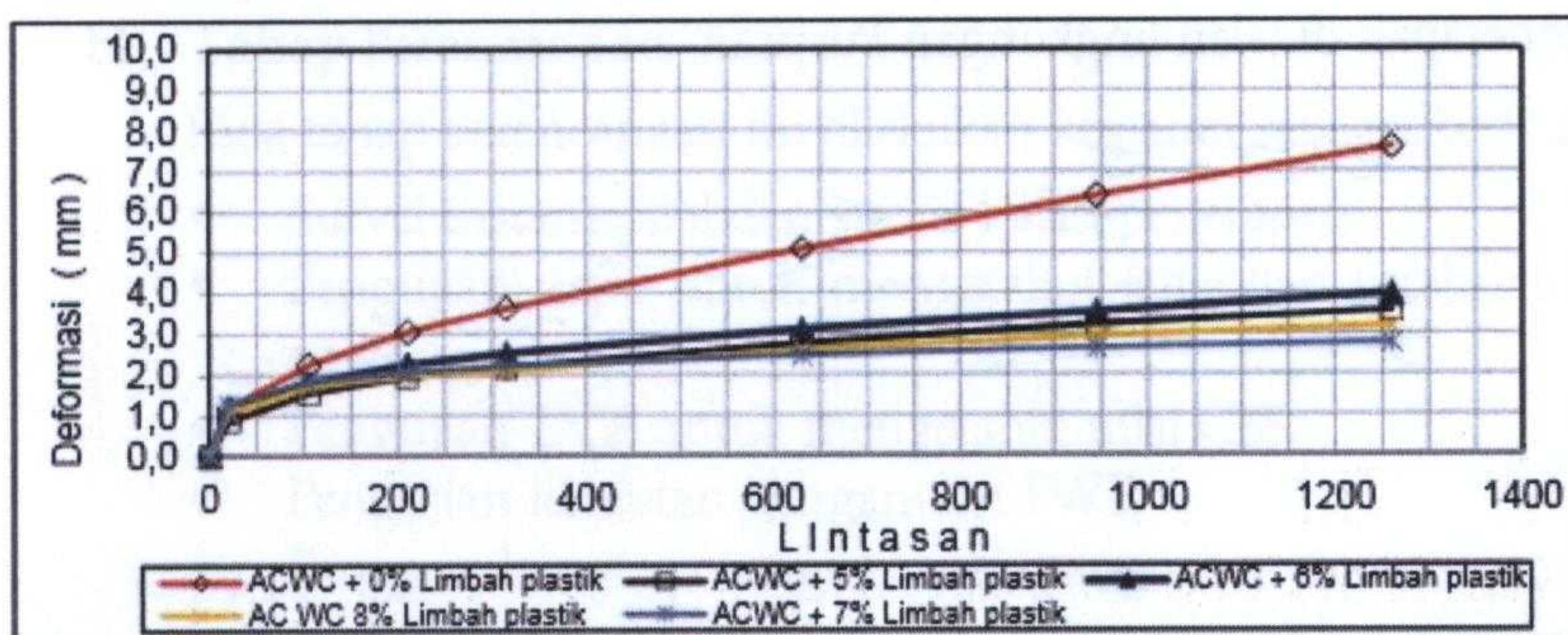
| No. | Kriteria campuran | Campuran AC-WC menggunakan limbah plastik | | | | |
|-----|-----------------------------|---|-------|------|------|-------|
| | | 0% | 5% | 6% | 8% | 10% |
| 1. | Stailitas marshall sisa (%) | 90,45 | 93,48 | 94,7 | 90,7 | 87,08 |
| 2. | Kuat Tarik tak langsung (%) | 76,7 | 84,8 | 83,7 | 80,2 | 79,1 |
| 3. | Cantabroo (%) | 6,3 | 5,6 | 5,2 | 5,9 | 8,7 |

2.13 Pengujian Stabilitas Dinamis Campuran Beraspal Menggunakan Limbah Plastik

Pengujian stabilitas dinamis dilakukan pada campuran tanpa limbah plastik dan campuran yang ditambah limbah plastik sebesar 5%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat aspal. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, selanjutnya ditinjau terhadap tiga parameter. Ketiga parameter tersebut yaitu: parameter stabilitas dinamis (*Dinamic Stability*), kecepatan deformasi (*Rate of Deformation*) dan deformasi permanen. Hasil pengujian *wheel tracking* disajikan pada Tabel 2.20 dan Gambar 2.6.

Tabel 2.20 Hasil Uji Ketahanan Deformasi (WTM)

| Kriteria campuran | Campuran AC-WC menggunakan limbah plastik | | | | |
|----------------------------------|---|-------|------|------|-------|
| | 0% | 5% | 6% | 8% | 10% |
| DO (mm) | 2,84 | 1,94 | 2,26 | 2,11 | 2,29 |
| Kecepatan deformasi (mm/menit) | 0,079 | 0,023 | 0,03 | 0,02 | 0,009 |
| Stabilitas dinamis (lintasan/mm) | 529 | 1830 | 1466 | 2333 | 4875 |



Gambar 2.6. Grafik Kedalamam Deformasi Hasil WTM

2.14 Pengujian Modulus Resilient Campuran Beraspal Menggunakan Limbah Plastik

Sama halnya dengan pengujian stabilitas dinamis, pengujian modulus *resilient* dilakukan pada campuran standard dan campuran yang ditambah limbah plastik sebesar 5%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat aspal. Untuk melihat sensitifitas terhadap temperatur, pengujian dilakukan pada temperature 25°C, 35°C dan 45°C. Hasil pengujian modulus resilient disajikan dalam Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Hasil pengujian modulus resilient campuran dengan limbah plastik

| No. | Temperatur pengujian (°C) | Campuran AC-WC menggunakan limbah plastik | | | | |
|-----|---------------------------|---|------|------|------|------|
| | | 0% | 5% | 6% | 8% | 10% |
| 1. | 25 | 2527 | 2794 | 3018 | 2776 | 3053 |
| 2. | 35 | 617 | 747 | 800 | 938 | 892 |
| 3. | 45 | 203 | 252 | 303 | 329 | 320 |

Berdasarkan hasil kajian di atas peningkatan mutu campuran beraspal diperoleh dengan penambahan limbah plastik sebanyak 6%. Oleh karena itu persentase 6% menjadi kadar plastik paling efektif.

Penerapan terbatas aspal karet cair telah dilakukan pada tahun 2016 di ruas jalan Ciawi – Benda sedangkan untuk aspal karet *masterbatch* dilakukan pada tahun 2017 ini di ruas jalan Batas Depok/Tangerang – Batas Depok Bogor sepanjang 500 meter dan sebagai perkerasan pembanding digelar juga perkerasan dengan aspal pen 60/70 sepanjang 100 meter. Untuk teknologi campuran aspal dengan limbah plastik, penerapan dilakukan di Kampus Universitas Udayana Bali pada tahun 2017 dengan panjang 570 meter. Kegiatan penerapan sebelumnya itu akan menjadi bahan kajian untuk penerapan di jalan lingkungan Pusjatan.

3 METODOLOGI PENERAPAN

3.1 Tahapan Kegiatan

Metodologi diskriptif dan verifikatif pada kegiatan ini dilakukan melalui uji gelar di lapangan untuk mengetahui kinerja dari campuran beraspal dengan aspal karet dan campuran beraspal dengan bahan tambah limbah plastik. Beberapa tahapan yang akan dilakukan pada kegiatan ini antara lain:

a) Tahap Persiapan

Tahap persiapan dimulai dengan melakukan kajian literatur serta pertemuan dengan nara sumber untuk mendapatkan masukan teknis dan dilanjutkan dengan pembuatan kriteria desain. Koordinasi dengan instansi terkait yaitu Bagian Keuangan dan Umum serta Bidang Sumber Daya Kelitbangan Pusjatan mengenai lokasi penerapan untuk uji gelar yang harus disesuaikan dengan *Masterplan* Pusjatan. Pada tahapan ini juga dilakukan survei kondisi pada lokasi yang dipilih, lengkap dengan informasi mengenai volume lalu lintas, survei quari, ketersediaan material, dan penentuan AMP.

b) Tahap Perencanaan

Pada tahap perencanaan ini dilakukan kegiatan sebagai berikut :

- Survei instansional dan survei lokasi penerapan
- Pengujian *testpit* untuk mengetahui jenis dan ketebalan lapisan perkerasan
- Pengujian DCP untuk mengetahui nilai CBR
- Pengujian lendutan dengan alat FWD
- Penggambaran potongan melintang dan memanjang lokasi penerapan
- Penentuan leveling perkerasan jalan yang akan diterapkan
- Perencanaan tebal struktur perkerasan serta drainase jalan

- Perhitungan volume kebutuhan material urugan dan lapis perkerasan yang dibutuhkan.
- Pengujian propertis bahan yang akan digunakan
- Perancangan campuran (*Design Mix Formula* = DMF dan *Job Mix Formula* = JMF) di laboratorium sebagai acuan untuk pelaksanaan uji gelar di lapangan.
- Penentuan item serta perhitungan volume kebutuhan material, alat, dan tenaga terhadap pekerjaan selain item perkerasan jalan yang menunjang kinerja perkerasan jalan, seperti drainase, urugan bahu jalan, cat marka, kerb dan perambuan.

c) Tahap Pelaksanaan

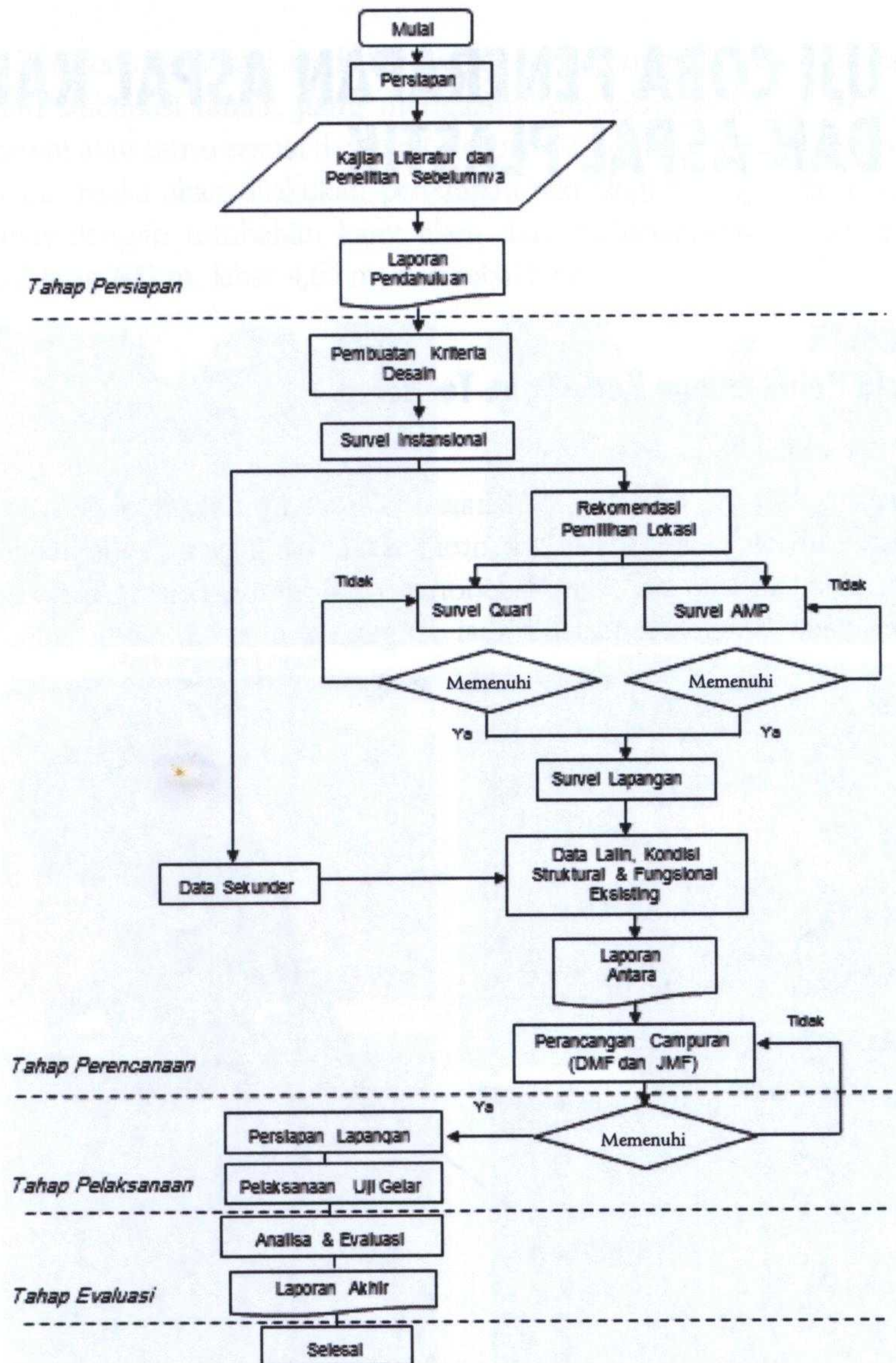
Tahapan ini dimulai dengan perbaikan jalan eksisting apabila terdapat kerusakan, kemudian persiapan lapangan, pengecekan kesiapan AMP, bahan material dan peralatan. Limbah plastik yang akan digunakan sebagai bahan campuran direncanakan diperoleh secara padat karya dari masyarakat sekitar, selain mengurangi pencemaran juga dapat meningkatkan penghasilan warga sekitar Pusjatan. Langkah selanjutnya adalah pelaksanaan uji gelar di lapangan.

d) Tahap Evaluasi

Setelah uji gelar selesai dilaksanakan maka selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap hasil pelaksanaan mengenai mutu dan kualitas campuran untuk selanjutnya dituangkan dalam laporan sebagai rekomendasi dalam pembuatan pedoman. Pada tahapan ini perlu juga melokalisir parameter kinerja perkerasan yang akan dinilai, sehingga kinerja yang diukur terfokus pada lapisan campuran yang diuji coba dan dibandingkan dengan perkerasan pembanding.

3.2 Bagan Alir

Tahapan kegiatan penerapan teknologi aspal karet dan teknologi limbah plastik sebagai bahan tambah perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



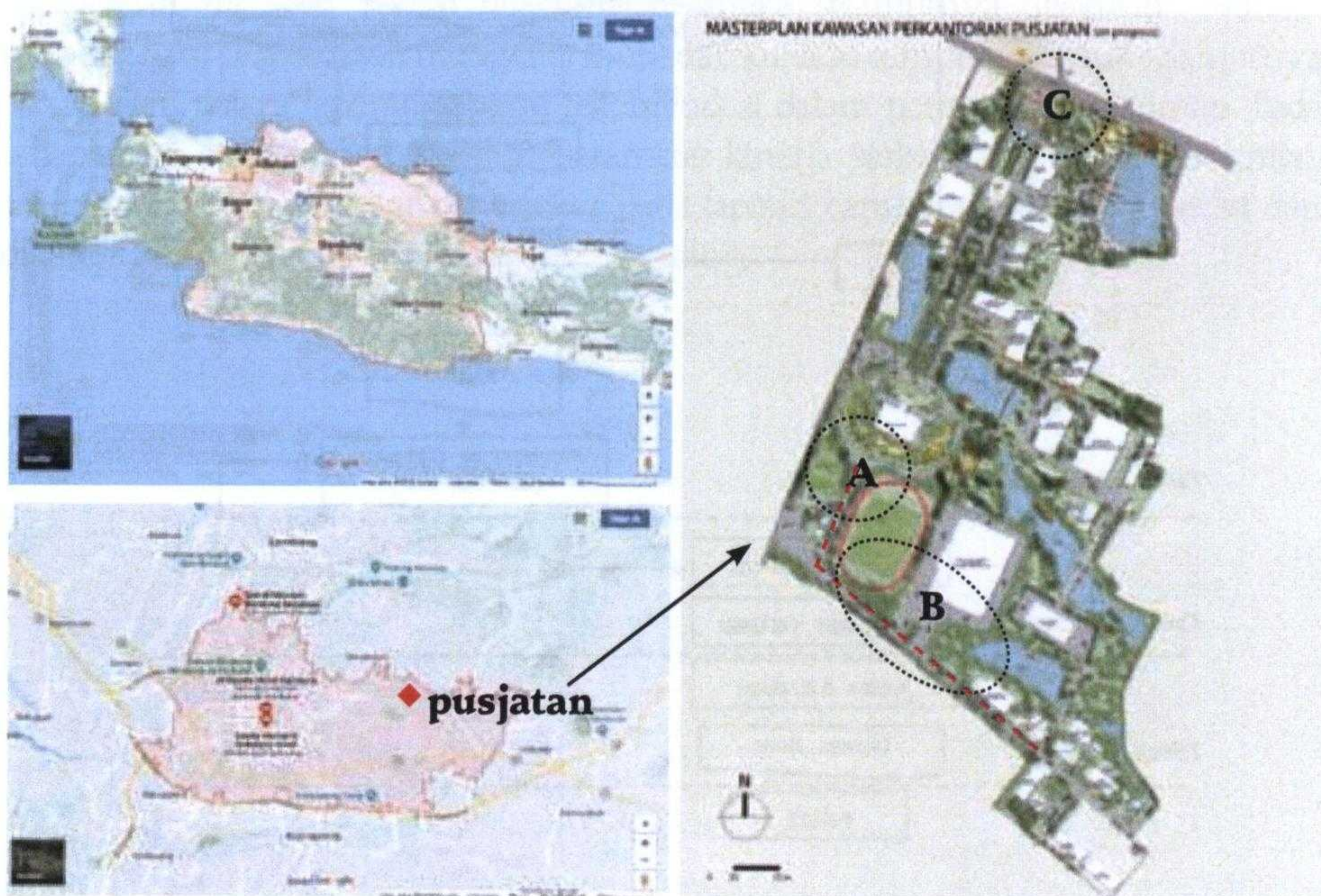
Gambar 3.1. Diagram Alir
Kegiatan Penerapan Teknologi Aspal Karet dan Aspal Plastik

4 UJI COBA PENERAPAN ASPAL KARET DAN ASPAL PLASTIK

4.1 Data Pelaksanaan Penerapan Teknologi

4.1.1 Data Lokasi Penerapan

Lokasi penerapan teknologi perkerasan jalan campuran aspal dengan limbah plastik dan karet alam adalah di kantor Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, yang beralamatkan di Jalan AH. Nasution no 264 Ujung Berung Kota Bandung Jawa Barat. Peta lokasi adalah sesuai dengan Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Lokasi Pusjatan dalam Peta Kota Bandung dan Denah Kampus Pusjatan

Keterangan :

A : Lokasi penerapan aspal karet, panjang 90m, lebar 4,65m

B : Lokasi penerapan aspal plastik, panjang 310m, lebar 4,65m

C : Lokasi penerapan aspal plastik, panjang 6,5m, lebar 6,0m

Kondisi eksisting lokasi studi berupa jalan dengan perkerasan dengan lapen, beton, dan stabilisasi tanah, yang mengalami kerusakan sehingga jarang diakses oleh pegawai atau tamu sesuai dengan Gambar 4.2. Untuk itu sesuai dengan tujuan kegiatan ini, maka akan dilakukan penerapan teknologi menggunakan campuran aspal panas dengan tambahan karet alam dan limbah plastik. Lokasi penerapan adalah panjang 400 m, lebar 4,65 m, dan tebal 5 cm.



Perkerasan Lapen



Perkerasan Lapen



Stabilisasi Tanah



Perkerasan Beton



Drainase Jalan Sisi 1



Drainase Jalan Sisi 2

Gambar 4.2 Kondisi Eksisting Lokasi Penerapan

4.1.2 Data Volume Lalu Lintas

Data lalu lintas diperoleh dengan pengamatan langsung (data primer) terhadap jumlah kendaraan yang melintas di lokasi studi. Jalan lokasi studi merupakan jalan lingkungan yang hanya digunakan oleh pegawai atau tamu Pusjatan.

Hasil survei lalu lintas menunjukkan bahwa lokasi studi hanya dilalui oleh kendaraan roda dua. Kondisi jalan yang tidak baik menyebabkan pegawai atau tamu tidak melalui jalan ini. Berdasarkan uraian tersebut maka kategori jalan di lokasi studi adalah jalan lalu lintas rendah.

4.1.3 Data Kondisi Perkerasan Eksisting

Untuk mengetahui kondisi lapisan perkerasan eksisting, maka telah dilakukan pengujian DCP, *test pit*, FWD, dan survei tinggi banjir. Hasil pengujian dan survei tersebut menjadi dasar dalam perencanaan desain perkerasan.

a) Nilai CBR Tanah Dasar

Berdasarkan hasil pengujian DCP, diperoleh nilai CBR sesuai dengan Tabel 4.1. Nilai CBR tanah dasar pada segmen tersebut lebih besar dari 10% sehingga tanah dasar pada lokasi penerapan ini dalam kondisi baik karena memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi minimum 6%.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Nilai CBR

| Titik Sta | DCP (mm/tumbukan) | CBR (%) | Titik Pengujian |
|-----------|-------------------|---------|-----------------|
| Sta 0+005 | 14,98 | 17,32 | Tengah |
| Sta 0+050 | 21,44 | 11,93 | Kanan |
| Sta 0+100 | 16,22 | 13,50 | Kiri |
| Sta 0+170 | 13,02 | 22,81 | Kanan |
| Sta 0+200 | 16,83 | 15,32 | Tengah |
| Sta 0+250 | 24,46 | 10,59 | Kiri |
| Sta 0+300 | 11,22 | 25,32 | Kanan |
| Sta 0+360 | 19,19 | 13,35 | Tengah |
| Sta 0+400 | 18,93 | 13,68 | Kiri |

b) Uji Test Pit

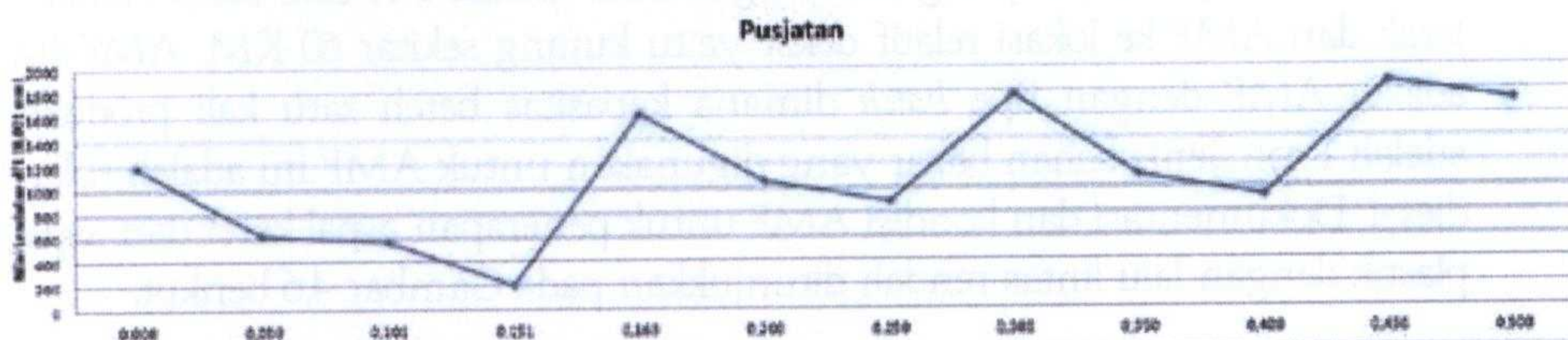
Jenis dan ketebalan lapisan perkerasan eksisting pada lokasi penerapan disajikan pada Gambar 4.3 berikut.

| Muka Air Tanah | dalam 1 mm 1 cm | Penampang Lapis Perkerasan | Macam Bahan dan Warna |
|----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|
| | 00 | AC - 4cm | |
| | 10 | Lapen - 9cm | |
| | 20 | | |
| | 30 | Selectec Material - 21cm | |
| | 40 | | |
| | 50 | Tanah Dasar | |
| | 60 | | |

Gambar 4.3 Jenis Struktur dan Tebal Lapisan Perkerasan Eksisting

c) Uji FWD

Untuk mengetahui atau mengukur lendutan permukaan dari sistem perkerasan jalan eksisting serta sebagai bahan perbandingan nilai lendutan setelah dilakukan perbaikan jalan maka dilaksanakan pengujian *falling weight deflectometer* (FWD). Pelaksanaan pengujian ini dilaksanakan pada 23 Maret 2018. Grafik pengujian adalah sesuai dengan Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Pengujian FWD

d) Tinggi Banjir

Berdasarkan survei langsung, pada saat hujan deras air dari drainase melimpah ke badan jalan. Selain itu drainase eksisting hanya terdapat di satu sisi jalan saja. Dokumentasi tinggi banjir dan kondisi drainase adalah sesuai dengan Gambar 4.5.



a. Air melimpas Drainase ke Badan Jalan



b. Kondisi Limpasan Drainase saat Hujan



c. Kondisi Drainase Saat Hujan



d. Drainase hanya di Satu Sisi

Gambar 4.5 Survei Tinggi Banjir dan Drainase Jalan

4.1.4 Data *Asphalt Mixing Plant* (AMP)

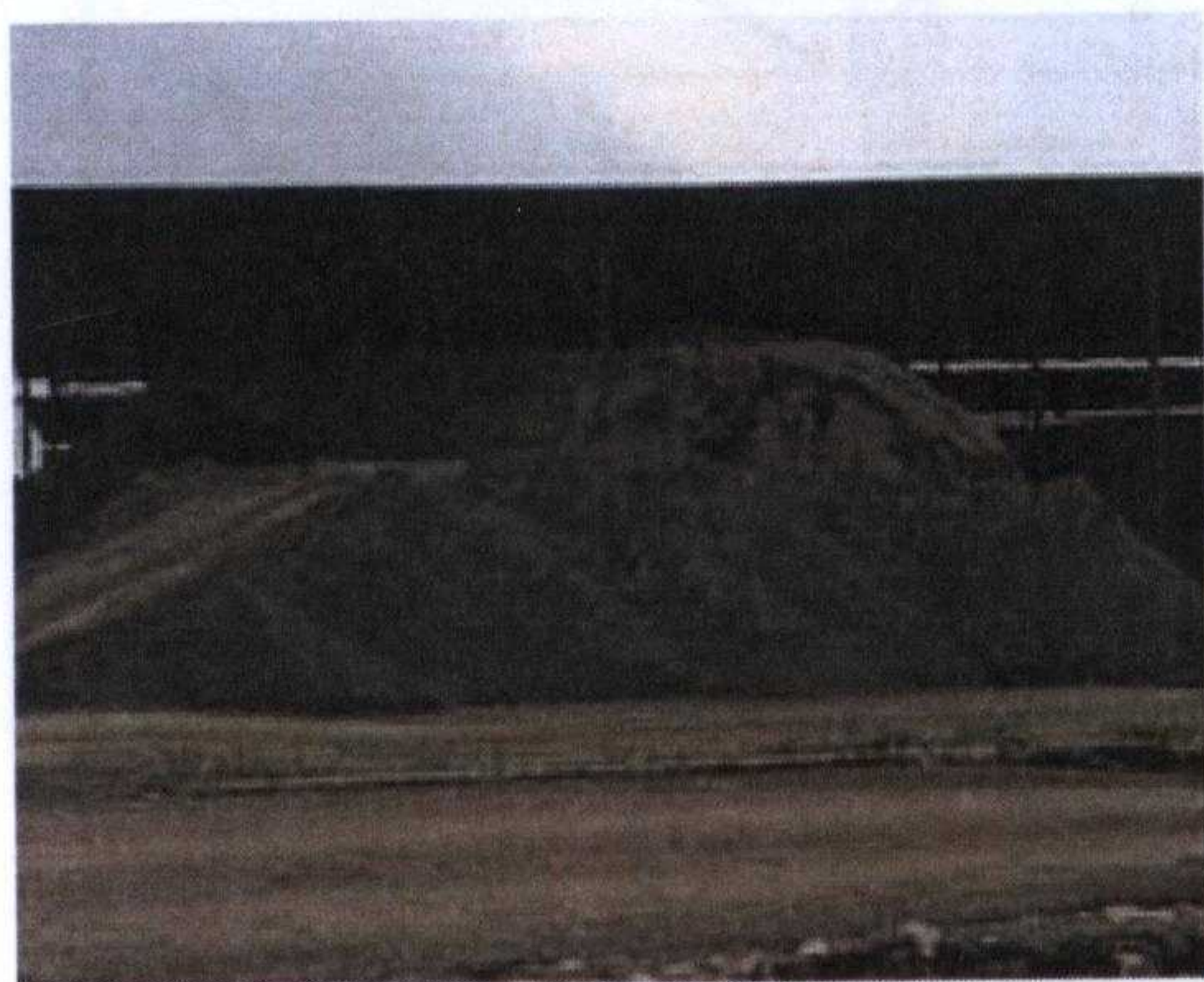
Unit pencampur aspal yang akan digunakan adalah PT. Selo Sakti Perkasa. Jarak dari AMP ke lokasi relatif dekat yaitu kurang sekitar 60 KM. AMP ini adalah AMP dengan tipe *batch* dimana kapasitas batch satu kali produksi adalah 1 ton. Jenis bahan bakar yang digunakan untuk AMP ini adalah solar/diesel. Dokumentasi dari kondisi AMP untuk penerapan aspal karet dan aspal plastik dengan lalu lintas rendah ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.



a. Kondisi AMP



b. Tangki Aspal AMP



c. Stock Material AMP

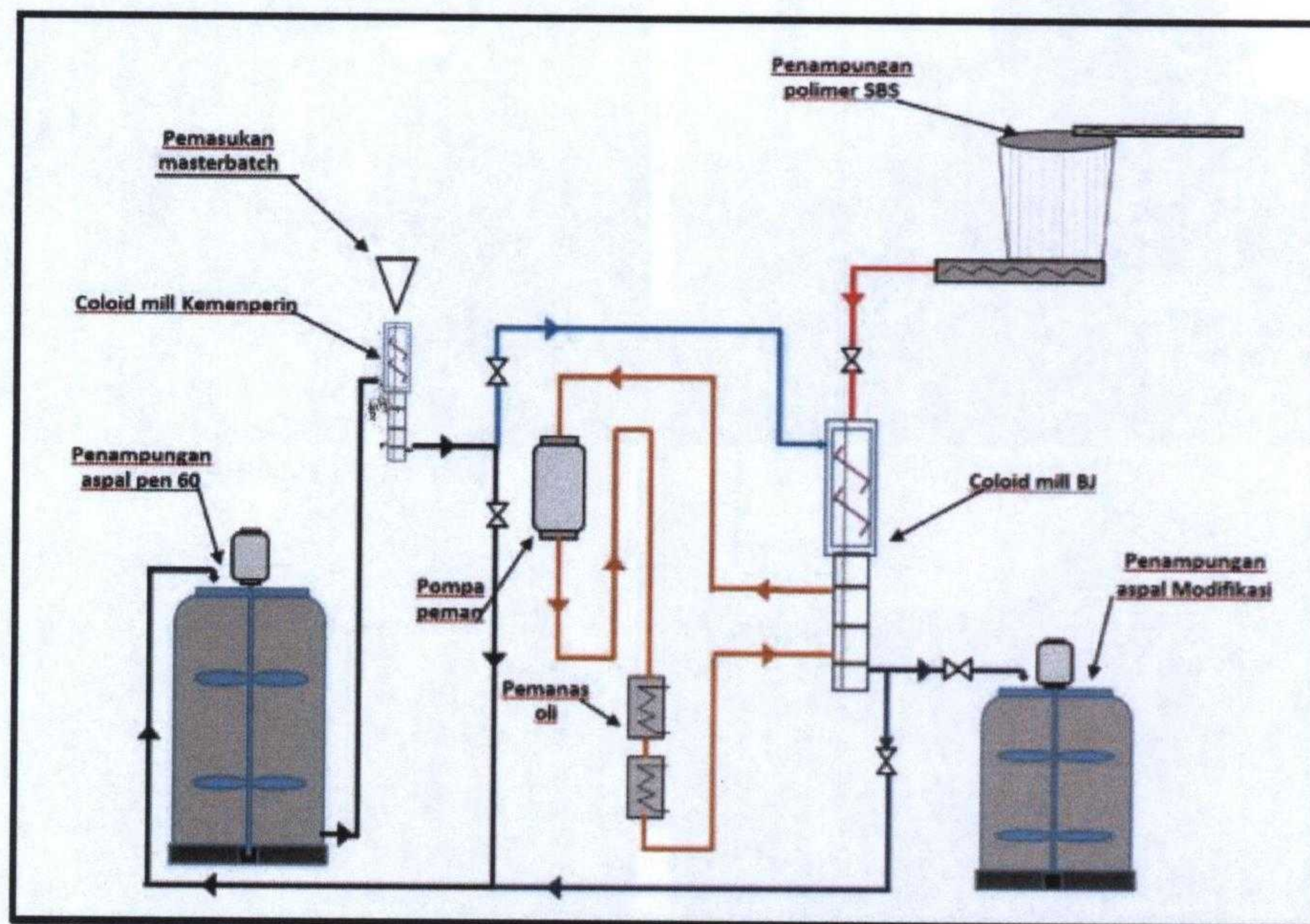


d. Alat Berat AMP

Gambar 4.6 Kondisi AMP PT. Selo Sakti Perkasa

4.1.5 Data Pembuatan Aspal Karet *Masterbatch* di *Bitument Plant*

Proses pencampuran aspal dan bahan *masterbatch* dilakukan di PT. Bintang Djaja Cilacap. Proses pencampuran ini merupakan hal yang paling vital karena harus dipastikan bahwa karet tercampur sempurna dengan aspal. Untuk memastikan tercampur sempurna maka digunakan 2 *coloid mill* dan waktu pencampuran yang telah disimulasikan. Skema pencampuran bahan *masterbatch* dan aspal disajikan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Skema Pencampuran *Masterbatch* dan Aspal di Bitumen Plant

4.1.6 Data Hasil Pengujian Bahan

Pada pemilihan bahan untuk kegiatan pemerapan ini dilakukan beberapa pengambilan sampel dari quari, AMP, atau produsen (untuk *prime coat*). Sifat bahan akan diuji dan dibandingkan dengan spesifikasi yang diacu yaitu Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010. Bahan yang masuk spesifikasi akan digunakan pada kegiatan penerapan. Data mutu bahan yang disajikan pada kegiatan ini adalah data terhadap material terpilih.

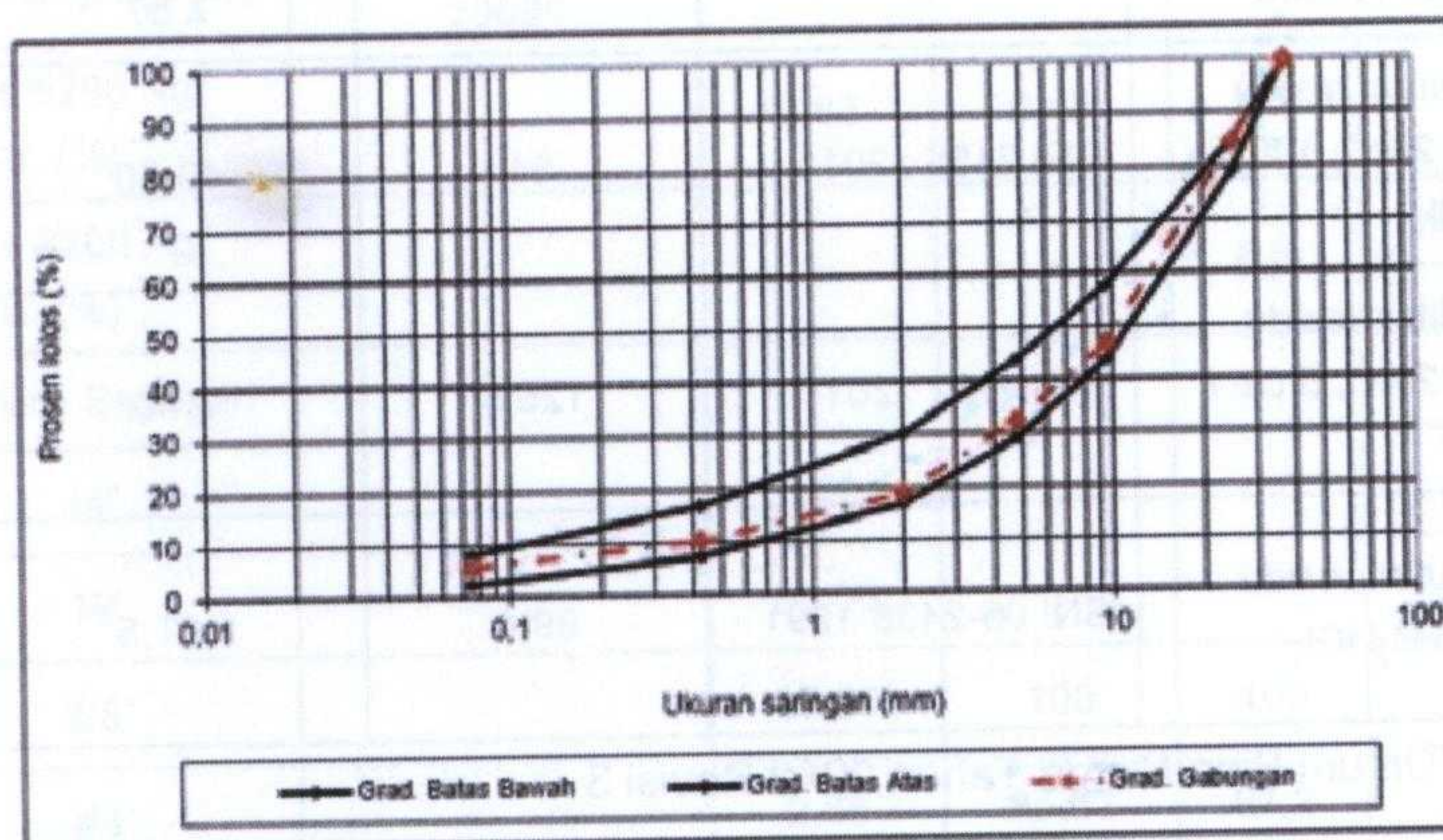
a) Bahan Lapis Pondasi dengan Agregat Kelas A

Penentuan pemilihan material agregat A harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga Revisi 3 tahun 2010 Divisi 5 tentang perkerasan berbutir. Spesifikasi yang harus dipenuhi antara lain gradasi, abrasi, gumpalan lempung, dan penyerapan. Material untuk agregat kelas A yang terpilih adalah bahan dari quari Lagadar.

Untuk mengetahui kualitas material yang akan digunakan maka telah dilakukan pengujian material agregat A. Selain pengujian mutu agregat lapis pondasi A, juga dilakukan kepadatan dari agregat untuk mendapat kadar air maksimum dan kepadatan kering campuran agregat A. Hasil pengujian mutu agregat A dan nilai CBR adalah sesuai Tabel 4.2. Sementara Gambar 4.8 adalah plot hasil uji gradasi terhadap material agregat A terpilih.

Tabel 4.2 Hasil Uji Mutu Agregat A dan Kepadatan Campuran

| Jenis Pengujian | Hasil Pengujian | Standar Pengujian |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Abrasi | 26,47% | 0 - 40% |
| Gumpalan Lempung | 2,11% | 0 - 5 % |
| Perbandingan Lolos No 200 dan 40 | 0,54 | Maks. 0,67 |
| Analisa Saringan | | |
| #1,5" | 100 | 100 |
| #1" | 85,7 | 79 - 85 |
| #3/8" | 46,5 | 44 - 58 |
| #4 | 34,5 | 29 - 44 |
| #10 | 20,6 | 17 - 30 |
| #40 | 10,3 | 7 - 17 |
| #100 | 4,7 | 2 - 8 |
| CBR Desain (CBR 100 rd maks) | 90% | - |
| Kepadatan kering maksimum | 2,05 gr/cm ³ | |
| 95% Maks | 1,948 t/m ³ | |
| Kadar air optimum | 8,28 % | |
| Berat Jenis | 2,665 | |



Gambar 4.8 Hasil Uji Gradasi untuk Agregat Kelas A

b) Bahan *Prime Coat*

Lapis resap pengikat atau *prime coat* pada penerapan ini menggunakan jenis CSS-1H hasil produksi PT. Buntara. *Prime coat* ini akan disiram di atas lapis pondasi agregat A. Hasil uji propertis terhadap cairan *prime coat* adalah sesuai dengan Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian Propertis *Prime Coat* CSS-1H PT. Buntara

| No. | Pengujian | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | Spesifikasi*) | Satuan |
|-----|--|------------------|-----------------|---------------|---------|
| 1 | Kekentalan <i>Saybolt Furol</i> 25°C | SNI 03-6721-2002 | 23 | 20-100 | detik |
| 2 | Stabilitas penyimpanan 24 jam | SNI 6828-2012 | 0,9 | ≤ 1,0 | % |
| 3 | Muatan listrik partikel | SNI 03-3644-1994 | Positif | Positif | - |
| 4 | Analisa saringan tertahan no. 20 | SNI 3643-2012 | 0,035 | ≤ 0,1 | % Lolos |
| 5 | Penyulingan | SNI 03-3642-1994 | | | |
| | - Kadar Air | | 41,0 | - | % |
| | - Kadar Minyak | | 1,0 | - | % |
| | - Kadar Residu | | 58,0 | ≥ 57 | % |
| 6 | Penetrasi residu pada 25°C, 100 g, 5 detik | SNI 2456 : 2011 | 84 | 40-90 | 0,1 mm |
| 7 | Daktilitas residu pada 25°C, 5 cm / menit | SNI 2432 : 2011 | 126,5 | ≥ 40 | Cm |
| 8 | Kelarutan residu dalam C ₂ HCl ₃ | SNI 06-2438-1991 | 99,4 | ≥ 97,5 | % |

*) Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3

c) Bahan Agregat untuk Campuran Beraspal

Pengujian agregat dilakukan terhadap tiga macam agregat yaitu agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus dimana semua agregat tersebut sumbernya dari Bantarwaru. Hasil pengujian sifat teknis agregat disajikan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sifat Agregat untuk Campuran Beraspal

| No | Jenis Pengujian | Metode | Hasil Pengujian | | | Spesifikasi *) |
|----|---------------------------|---------------------|-----------------|---------|-------|----------------|
| | | | Kasar | Sedang | Halus | |
| 1 | Abrasi 500 putaran, (%) | SNI 03-2417-2008 | 27,04 | - | - | Maks. 30 |
| | Abrasi 100 putaran, (%) | SNI 03-2417-2008 | 7,26 | - | - | Maks. 8 |
| 2 | Setara pasir, (%) | SNI 03-4428-1997 | - | - | 51 | Min. 60 |
| 3 | Berat jenis | | | | | |
| | Bulk | SNI 03-1969-2008 | 2,56 | 2,57 | 2,57 | |
| | SSD | SNI 03-1969-2008 | 2,63 | 2,63 | 2,62 | |
| | Apparent | SNI 03-1970-2008 | 2,75 | 2,73 | 2,72 | |
| 4 | Penyerapan, (%) | SNI 03-1969-2008 | 2,77 | 2,20 | 2,17 | Maks. 3,0 |
| 5 | Angularitas, (%) | ASTM D 5821 2001 | 100/100 | 100/100 | - | 95/90 |
| 6 | Kelekatan, (%) | SNI 03-2439-2011 | 95+ | - | - | Min. 95 |
| 7 | Pipih lonjong, (%) | ASTM D 4791 2005 | 1,5 | 1 | - | Maks. 10 |
| 8 | Lolos #200 Ag. Kasar, (%) | | 0,82 | 0,46 | - | Maks. 2 |
| | Lolos #200 Ag. Halus, (%) | | - | - | 6,6 | Maks. 10 |
| 9 | Analisis Saringan | | | | | |
| | ¾" | | 100 | | | |
| | ½" | | 88,06 | | | |
| | 3/8" | | 36,06 | 100 | 100 | |
| | #4 | | 2,66 | 25,62 | 97,2 | |
| | #8 | | 0,67 | 3,61 | 76,5 | |
| | #16 | | 0,62 | 2 | 60,1 | |
| | #30 | | 0,60 | 1,65 | 44,1 | |
| | #50 | | 0,57 | 1,51 | 29,1 | |
| | #100 | | 0,50 | 1,34 | 21,4 | |
| | #200 | | 0,31 | 0,99 | 9,5 | |

*) Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3

d) Bahan Aspal Pen. 60/70 dan Aspal Karet

Aspal Pen. 60/70 akan digunakan untuk teknologi campuran aspal panas dengan limbah plastik, sementara aspal karet *masterbatch* akan digunakan untuk teknologi aspal panas dengan karet alam. Hasil pengujian bahan aspal konvensional Pen. 60/70 dari AMP PT Selo Sakti Perkasa dan hasil pengujian aspal karet *masterbatch* dari PT. Bintang Djaja disajikan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Aspal Konvensional Pen. 60/70

| No | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil Uji | Spesifikasi*) | Satuan |
|----|---|------------------|-----------|---------------|--------|
| 1 | Penetrasi pada 25 °C, (0,1 mm) | SNI 2456:2011 | 63 | 60 - 70 | dmm |
| 2 | Viskositas absolut 60°C | SNI 03-6440-2000 | 215,1 | 160 - 240 | Pa. S |
| 3 | Viskositas pada 135 °C | SNI 7729: 2011 | 475 | ≥ 300 | cSt |
| 4 | Titik lembek | SNI 2434 : 2011 | 50 | ≥ 48 | °C |
| 5 | Daktilitas | SNI 2432 : 2011 | > 140 | ≥ 100 | Cm |
| 6 | Titik Nyala | SNI 2433 : 2011 | 319 | ≥ 232 | °C |
| 7 | Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃ | SNI 06-2438-1991 | 99,91 | ≥ 99 | % |
| 8 | Berat Jenis | SNI 2241:2011 | 1,039 | ≥ 1 | - |
| 9 | Kehilangan berat (TFOT) | SNI 06-2240-1991 | 0,133 | ≤ 0,8 | % |
| 10 | Viskositas asbolut (TFOT) | SNI 03-6440-2000 | 286 | ≤ 800 | |
| 11 | Penetrasi setelah kehilangan berat | SNI 2456-2011 | 81 | ≤ 54 | % |
| 12 | Daktilitas | SNI 2432 : 2011 | >140 | ≥ 100 | Cm |
| 13 | Suhu Pencampuran | SNI 7729 : 2011 | 158-163 | | |
| 14 | Suhu Pemadatan | SNI 7729 : 2011 | 146-151 | | |

*) Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Aspal Karet *Masterbatch*

| No | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil Uji | Spesifikasi*) | Satuan |
|----|---|------------------|-----------|---------------|--------|
| 1 | Penetrasi pada 25 °C | SNI 2456:2011 | 51 | ≥ 50 | dmm |
| 2 | Viskositas absolut 135°C | SNI 7729:2011 | 905,8 | ≤ 2000 | Pa. S |
| 3 | Titik lembek | SNI 2434 : 2011 | 55,5 | ≥ 52 | °C |
| 4 | Daktilitas | SNI 2432 : 2011 | > 140 | ≥ 100 | Cm |
| 6 | Titik Nyala | SNI 2433 : 2011 | 326 | ≥ 232 | °C |
| 7 | Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃ | SNI 06-2438-1991 | 99,88 | ≥ 99 | % |
| 8 | Berat Jenis | SNI 2241:2011 | 1,042 | ≤ 1 | - |
| 9 | Kehilangan berat (TFOT) | SNI 06-2240-1991 | 0,025 | ≤ 0,8 | % |
| 11 | Penetrasi setelah kehilangan berat | SNI 2456-2011 | 96 | ≥ 54 | % |
| 12 | Daktilitas | SNI 2432 : 2011 | >140 | ≥ 100 | Cm |
| 13 | Suhu Pencampuran | SNI 7729 : 2011 | 170-177 | | °C |
| 14 | Suhu Pemadatan | SNI 7729 : 2011 | 156-161 | | °C |

*) Rancangan 2 Laston Karet Alam

4.1.7 Data Kadar Karet dan Plastik

a) Kadar Karet

Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan dan telah dituangkan di Bab 2, bahwa kadar karet yang paling efektif dalam meningkatkan mutu campuran beraspal adalah 7%. Bertolak dari hasil pengujian di penelitian tersebut maka kegiatan penerapan di jalan lingkungan Pusjatan ini menggunakan kadar karet 7% terhadap berat aspal.

b) Kadar Plastik

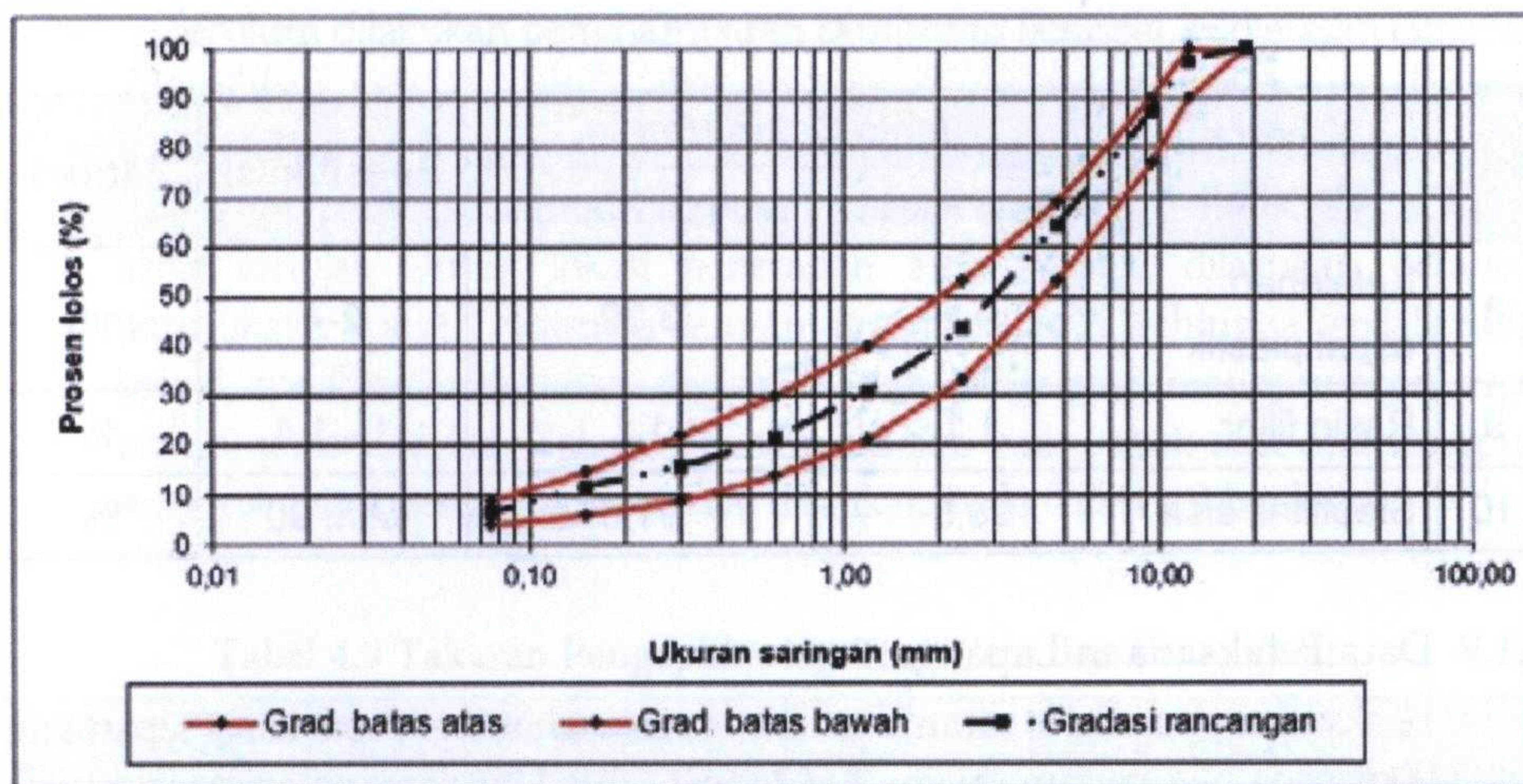
Sama halnya dengan kadar karet, penentuan kadar plastik dalam campuran aspal pada kegiatan ini juga merujuk hasil pengujian laboratorium. Bahwa kadar plastik paling efektif berdasarkan hasil pengujian adalah 6% terhadap berat aspal.

4.1.8 Data Rancangan Campuran Agregat *Hotbin*

Untuk pelaksanaan lapangan maka terlebih dahulu dibuat perencanaan campuran beraspal baik untuk campuran beraspal panas dengan aspal karet *masterbatch* maupun campuran beraspal panas dengan aspal plastik. Dalam perencanaan ini agregat yang digunakan adalah agregat dari *hotbin* dengan proporsi penggunaan yang disesuaikan dengan spesifikasi yang diacu sehingga mencapai gradasi yang diinginkan. Gradasi dari masing-masing *hotbin* dan gradasi campuran ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.9 berikut.

Tabel 4.7 Gradasi agregat *hotbin* dan gradasi campuran

| URAIAN | | 3/4" | 1/2" | 3/8" | #4 | #8 | #16 | #30 | #50 | #100 | #200 |
|-----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Inch | | 19,0 | 12,5 | 9,5 | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,600 | 0,300 | 0,150 | 0,075 |
| mm | | | | | | | | | | | |
| DATA GRADASI | | | | | | | | | | | |
| HB III | | 100,0 | 92,1 | 64,1 | 10,1 | 4,5 | 2,7 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| HB II | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 73,3 | 36,8 | 16,0 | 5,3 | 3,1 | 2,2 | 1,6 |
| HB I | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 97,3 | 68,9 | 50,5 | 36,1 | 26,5 | 19,2 | 9,5 |
| Filler Semen | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,0 |
| KOMBINASI AGREGAT | | | | | | | | | | | |
| HB III | 35% | 35,0 | 32,2 | 22,4 | 3,5 | 1,6 | 0,9 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| HB II | 10% | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 7,3 | 3,7 | 1,6 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| HB I | 54% | 54,0 | 54,0 | 54,0 | 52,5 | 37,2 | 27,3 | 19,5 | 14,3 | 10,4 | 5,1 |
| Filler Semen | 1% | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 100% | | | | | | | | | | |
| Gradasi gabungan | | 100,0 | 97,2 | 87,4 | 64,4 | 43,5 | 30,8 | 21,6 | 15,6 | 11,6 | 6,3 |
| Gradasi Laston AC WC | | | | | | | | | | | |
| Maks. | | 100,0 | 100,0 | 90,0 | 69,0 | 53,0 | 40,0 | 30,0 | 22,0 | 15,0 | 9,0 |
| Min. | | 100,0 | 90,0 | 77,0 | 53,0 | 33,0 | 21,0 | 14,0 | 9,0 | 6,0 | 4,0 |



Gambar 4.9 Gradasi Agregat Campuran Hotbin

Berdasarkan gradasi campuran agregat tersebut selanjutnya dilakukan percobaan *Marshall* untuk menentukan karakteristik campuran beraspal dan kadar aspal optimum. Adapun resume dari percobaan *Marshall* untuk campuran beraspal dengan aspal karet *masterbatch* dan campuran beraspal Pen 60/70 dengan limbah plastik disajikan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Sifat Campuran Berdasarkan Kriteria *Marshall*

| No | Kriteria Marshall | Jenis Campuran | | Spesifikasi | Satuan |
|----|-----------------------|----------------|---------------|-------------|------------------|
| | | Aspal Karet | Aspal Plastik | | |
| 1 | Kadar aspal efektif | 6,0 | 6,0 | | % |
| 2 | Kepadatan | 2,247 | 2,252 | | t/m ³ |
| 3 | VMA | 17,6 | 16,3 | Min. 15 | % |
| 4 | VIM Marshall | 4,0 | 3,8 | 3-5 | % |
| 5 | VFB | 77,1 | 76,4 | Min. 65 | % |
| 6 | Stabilitas | 1161,8 | 1604,5 | Min. 900 | kg |
| 7 | Kelelehan aspal karet | 4,45 | - | 2-5 | mm |

| No | Kriteria Marshall | Jenis Campuran | | Spesifikasi | Satuan |
|----|-------------------------|----------------|---------------|-------------|--------|
| | | Aspal Karet | Aspal Plastik | | |
| 8 | Kelelehan aspal plastik | - | 3,39 | 2-4 | mm |
| 9 | Rasio filler | 1,1 | 1,1 | 1 - 1,4 | % |
| 10 | Stabilitas sisa | 93,5 | 91,0 | Min. 90 | % |

4.1.9 Data Pelaksanaan Lapangan

Pelaksanaan penghamparan dimulai dengan teknologi aspal karet sepanjang 90m pada hari pertama yaitu 30 Oktober 2018. Untuk teknologi aspal plastik dilaksanakan pada hari kedua yaitu 31 Oktober 2018 dengan total panjang 310m. Sketsa pelaksanaan di lapangan adalah sesuai dengan Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Sketsa Pelaksanaan Penghamparan di Lapangan

Sebelum dilakukan penghamparan campuran beraspal, perkerasan eksisting dibersihkan terlebih dahulu dengan alat *air compressor*. Perkerasan eksisting untuk lokasi penerapan aspal karet berupa perkerasan lapen, sehingga setelah dilakukan pembersihan dilanjutkan pengaplikasian *tack coat* menggunakan aspal emulsi. Untuk lokasi penerapan aspal plastik, dilakukan perataan permukaan kondisi eksisting dengan agregat kelas A, sehingga setelah padat sesuai spesifikasi dilakukan pengaplikasian *prime coat* menggunakan aspal emulsi jenis CSS-1H. Takaran pengaplikasian baik untuk *tack coat* maupun *prime coat* hasil pengujian *paper test* disajikan pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Takaran Pengaplikasian *Tack Coat* dan *Prime Coat*

| No | STA | Luas (cm ²) | Berat Kertas (gr) | | Berat Aspal (gr) | Takaran Aplikasi (kg/m ²) | Spesifikasi |
|---|-----------|----------------------------|-------------------|-------|---------------------|--|-------------|
| | | | Awal | Akhir | | | |
| Aspal Karet - <i>Tack Coat</i> di atas Lapen | | | | | | | |
| 1 | STA 0+25 | 406,00 | 64,70 | 78,70 | 14,00 | 0,35 | 0,2 |
| 2 | STA 0+50 | 400,00 | 58,90 | 78,60 | 19,70 | 0,49 | 0,2 |
| 3 | STA 0+75 | 535,00 | 66,80 | 79,70 | 12,90 | 0,24 | 0,2 |
| Aspal Plastik - <i>Prime Coat</i> di atas LPA | | | | | | | |
| 1 | STA 0+100 | 414,1 | 60,00 | 78,70 | 18,70 | 0,45 | 0,4 -1,3 |
| 2 | STA 0+150 | 417,1 | 60,10 | 73,40 | 13,30 | 0,32 | 0,4 -1,3 |
| 3 | STA 0+200 | 414,1 | 60,00 | 78,70 | 18,70 | 0,45 | 0,4 -1,3 |
| 4 | STA 0+250 | 402,0 | 60,20 | 78,60 | 18,40 | 0,49 | 0,4 -1,3 |
| 5 | STA 0+300 | 401,1 | 59,10 | 79,60 | 20,50 | 0,51 | 0,4 -1,3 |

Beberapa dokumentasi kegiatan pelaksanaan penghamparan dan pemadatan campuran beraspal menggunakan aspal karet dan aspal plastik diperlihatkan pada Gambar 4.11. berikut.



a. Produksi Campuran di AMP



b. Pengangkutan Campuran



c. Penyemprotan Prime Coat



d. Proses Penghamparan



e. Pemadatan Awal Roda Baja



f. Pemadatan Antara Roda Karet

Gambar 4.11 Dokumentasi Pelaksanaan Lapangan

4.1.10. Data Temperatur dan Kepadatan Lapangan

Temperatur merupakan salah satu data yang menunjang pengendalian mutu campuran beraspal. Pemanasan campuran beraspal yang melebihi atau kurang dari spesifikasi yang disyaratkan akan mempengaruhi mutu campuran yang dihasilkan. Pengukuran temperatur dilakukan pada saat pencampuran di AMP dan saat di lapangan, baik penghamparan maupun pemadatan. Resume temperatur campuran pada saat di AMP dan pelaksanaan aspal karet dan aspal plastik disajikan pada Tabel 4.10 dan 4.11 berikut.

Tabel 4.10 Resume Temperatur Pelaksanaan Campuran Aspal Karet

| No. | Nopol DT | Berat | Temp. Dari | Waktu | Temp | Waktu | Temp Pemadatan | Waktu | Temp Pemadatan | Waktu |
|-----|-----------|--------|----------------|-------|---------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | (ton) | AMP ke DT (°C) | (WIB) | Finisher (°C) | (WIB) | Roda Baja | (WIB) | Roda Karet | (WIB) |
| 1 | T 9457 AB | 9,990 | 155 | 06.43 | 145,0 | 10.55 | 120,0 | 11.01 | 119 | 11.09 |
| 2 | T 9087 AB | 10,040 | 155 | 06.33 | 140,0 | 11.11 | 120,0 | 11.16 | 120 | 11.20 |
| 3 | T 8133 AG | 10,010 | 155 | 06.35 | 140,0 | 11.20 | 141,0 | 11.25 | 139 | 11.29 |
| 4 | T 8543 AL | 9,980 | 154 | | 148,0 | 11.28 | 153,9 | 11.33 | 143 | 11.40 |
| 5 | T 8284 AL | 9,980 | 155 | 07.06 | 151,5 | 11.49 | 137,7 | 11.53 | 132 | 11.58 |

Tabel 4.11 Resume Temperatur Pelaksanaan Campuran Aspal Plastik

| No. | Nopol DT | Berat | Temp. Dari | Waktu | Temp | Waktu | Temp Pemadatan | Waktu | Temp Pemadatan | Waktu (WIB) |
|-----|------------|--------|----------------|-------|---------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------------|
| | | (ton) | AMP ke DT (°C) | | Finisher (°C) | | Roda Baja (°C) | | Roda Karet (°C) | |
| 1 | T 8236 AG | 10,050 | 154 | 06.15 | 143,8 | 09.40 | 118,0 | 09.51 | 117 | 09.58 |
| 2 | T 8543 AL | 9,970 | 155 | 06.58 | 137,0 | 10,01 | 111,3 | 10,03 | 110 | 10.05 |
| 3 | T 9087 AB | 9,980 | 154 | 06.29 | 144,9 | 10,14 | 108,0 | 10,16 | 107 | 10.20 |
| 4 | T 9718 AA | 10,040 | 155 | 06.44 | 148,0 | 10,29 | 124,0 | 10,32 | 122 | 10.40 |
| 5 | T 8184 AI | 9,980 | 155 | 07.24 | 156,0 | 10,42 | 140,0 | 10,55 | 139 | 11.00 |
| 6 | T 8233 AL | 10,010 | 154 | 07.38 | 137,0 | 10,54 | 124,0 | 11,01 | 124 | 10.05 |
| 7 | T 9492 AA | 10,010 | 154 | 07.10 | 140,3 | 11,05 | 135,7 | 11,10 | 135 | 11.20 |
| 8 | T 9541 AB | 10,020 | 155 | 08.04 | 145,0 | 11,29 | 133,3 | 11,36 | 133 | 11.40 |
| 9 | T 9042 AC | 9,980 | - | 07.51 | 140,0 | 11,39 | 119,5 | 11,44 | 118 | 11.50 |
| 10 | T 9533 AA | 10,010 | - | 08.07 | 150,0 | 11,52 | 109,0 | 11,57 | 109 | 12.10 |
| 11 | T 8133 AG | 9,980 | 154 | 08.36 | 140,8 | 12,12 | 111,0 | 12,17 | 110 | 12.22 |
| 12 | DS 9779 GB | 10,010 | 155 | 08.43 | 143,0 | 12,21 | 102,6 | 12,26 | 101 | 12.40 |
| 13 | T 9855 AA | 9,970 | 156,5 | 09.42 | 136,0 | 13,01 | 155,0 | 13,08 | 155 | 13.14 |
| 14 | T 9336 AD | 10,020 | 157 | 08.55 | 154,0 | 13,11 | 136,0 | 13,19 | 135 | 13.29 |
| 15 | T 9102 DE | 9,960 | 155 | 10.47 | 146,0 | 13,58 | 136,0 | 14,02 | 135 | 14.07 |
| 16 | T 8131 AK | 9,980 | 154 | 10,15 | 141,0 | 14,1 | 141,0 | 14,13 | 140 | 14.20 |
| 17 | T 9455 AB | 9,980 | 155 | 09.28 | 142,0 | 14,29 | 141,0 | 14,35 | 140 | 14.45 |
| 18 | T 9747 AA | 10,040 | 154 | 09.57 | 155,0 | 13,01 | 140,00 | 14,55 | 140 | 15.30 |
| 19 | T 9673 AA | 10,010 | 154 | 10,35 | 146,5 | 15,25 | 139,00 | 17,00 | 130 | 19.00 |

Selain temperatur, mutu campuran yang telah dihampar dan dipadatkan dapat diperiksa dengan dilakukan dengan membandingkan kepadatan yang ada di lapangan terhadap kepadatan laboratorium.

Pemadatan campuran beraspal dilakukan dengan alat pemadat roda baja dan roda karet. Jumlah lintasan pemadatan pada kegiatan ini dilakukan sebanyak 2 (dua) lintasan untuk roda baja dan 20 (dua puluh) lintasan untuk roda karet. Penentuan jumlah lintasan yang harusnya melalui *trial compaction* tidak dapat dilaksanakan pada kegiatan ini. Hal tersebut karena panjang total jalan

pada kegiatan ini hanya 400m, sehingga tidak memungkinkan untuk *trial compaction*. Sehingga dasar penentuan lintasan adalah pelaksanaan penerapan aspal karet dan aspal plastik di Bali pada tahun 2016.

Untuk mendapatkan data kepadatan yang ada di lapangan dilakukan pengambilan contoh inti *core* sebanyak 3 sampel aspal karet dan 5 sampel untuk aspal plastik. Hasil pengujian kepadatan dan derajat kepadatan untuk aspal karet dan aspal plastik disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Uji Kepadatan Lapangan

| No | STA | Tebal (cm) | Kepadatan (gr/cc) | |
|---------------|---------|------------|-------------------|----------|
| | | | JSD | Lapangan |
| Aspal Karet | | | | |
| 1 | 0+005 R | 5,09 | 2,247 | 2,174 |
| 2 | 0+050 C | 5,60 | | 2,170 |
| 3 | 0+090 L | 6,14 | | 2,193 |
| Aspal Plastik | | | | |
| 1 | 0+150 R | 6,52 | 2,252 | 2,169 |
| 2 | 0+200 C | 5,89 | | 2,173 |
| 3 | 0+250 L | 4,42 | | 2,173 |
| 4 | 0+300 R | 6,35 | | 2,170 |
| 5 | 0+350 C | 5,91 | | 2,191 |
| Minimum | | | | 2,169 |
| Maksimum | | | | 2,193 |
| Rata-rata | | | | 2,176 |

4.1.11 Data Hasil Ekstraksi

Pengujian ekstraksi dilakukan terhadap campuran aspal karet dan plastik yang diambil secara acak dari AMP. Data yang diperoleh dari uji ekstraksi akan adalah kadar aspal dan gradasi dalam campuran. Nilai hasil uji akan dibandingkan dengan spesifikasi yang disyaratkan. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan rencana campuran dalam JMF. Hasil uji ekstraksi adalah sesuai dengan Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Uji Ektrasi Campuran Beraspal

| No | Pengujian | Aspal Karet | Aspal Plastik | Satuan |
|----|------------------|-------------|---------------|---------|
| 1 | Kadar Aspal | 5,87 | 5,79 | % |
| 2 | Analisa Saringan | | | |
| | # $\frac{3}{4}$ | 100,0 | 100,0 | % Lolos |
| | # $\frac{1}{2}$ | 96,4 | 97,0 | % Lolos |
| | # $\frac{3}{8}$ | 86,7 | 85,9 | % Lolos |
| | # no. 4 | 63,8 | 65,6 | % Lolos |
| | # no. 8 | 43,1 | 43,9 | % Lolos |
| | # no. 16 | 30,1 | 30,1 | % Lolos |
| | # no. 30 | 22,2 | 22,1 | % Lolos |
| | # no. 50 | 16,5 | 16,3 | % Lolos |
| | # no. 100 | 12,2 | 11,9 | % Lolos |
| | # no. 200 | 7,8 | 7,5 | % Lolos |

4.2 Analisis

4.2.1 Analisis Tebal dan Jenis Perkerasan Perkerasan Jalan

Tebal perkerasan di lokasi studi didasarkan pada volume lalu lintas dan nilai CBR tanah dasar. Berdasarkan uraian pada kondisi eksisting jalan terkait nilai CBR tanah dasar yang seluruhnya di atas 6% serta data volume lalu lintas yang masuk dalam kategori lalu lintas rendah maka perencanaan tebal perkerasan jalan dapat diambil dari nilai tebal nominal minimum campuran beraspal.

Pada awalnya, jenis campuran perkerasan yang akan dipilih adalah jenis Laston atau HRS, namun karena kesulitan dalam memperoleh gradasi agregat maka jenis campuran dipilih adalah jenis Laston / AC-WC.

Sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 seksi 6.3 Campuran Beraspal Panas bahwa tebal nominal minimum untuk Laston AC-WC adalah 4 cm. Untuk faktor keamanan terhadap pengaruh beban yang bertambah dan faktor pelaksanaan maka tebal perkerasan AC-WC ditetapkan menjadi 5 cm.

4.2.2 Analisis untuk Lapis Pondasi

Berdasarkan data bahan untuk lapis pondasi atas yaitu agregat kelas A pada Bab 4.1.6 a) bahwa agregat kelas A dari quari Lagadar masuk spesifikasi. Ketebalan lapis pondasi jalan dipengaruhi oleh nilai CBR tanah dasar dan juga oleh volume lalu lintas. Terkait nilai CBR tanah dasar yang baik (> 6%)

dan volume lalu lintas rendah maka lapis pondasi jalan di lokasi studi lebih diarahkan untuk menaikkan level jalan supaya tidak tergenang air pada saat hujan deras. Sesuai dengan hasil survei yang dituangkan dalam item 4.1.3 d), lapis pondasi jalan akan meninggikan level bahan jalan. Material agregat kelas A setelah dihampar dan dipadatkan, kemudian diuji kepadatan dengan uji *sand cone*. Hasil kepadatan lapangan akan dibandingkan dengan kepadatan kering maksimum. Sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010 Divisi 5.1 bahwa kepadatan lapangan paling sedikit mencapai 100% terhadap kepadatan kering maksimum. Analisis perbandingan kepadatan lapangan dan kepadatan kering maksimum adalah sesuai dengan Tabel 14.

Tabel 4.14 Perbandingan Kepadatan Lapangan dan Kepadatan Laboratorium

| No | STA | Kepadatan Laboratorium (t/m ³) | Kepadatan Lapangan (t/m ³) | Derajat Kepadatan (%) |
|----|-------|--|--|-----------------------|
| 1 | 0+105 | 2,05 | 2,260 | 110% |
| 2 | 0+130 | | 2,280 | 111% |
| 3 | 0+180 | | 2,080 | 102% |
| 4 | 0+280 | | 2,060 | 101% |
| 5 | 0+330 | | 2,053 | 100,1% |
| 6 | 0+350 | | 2,110 | 103% |

Selain meninggikan level dengan agregat kelas A, pembuatan dan perbaikan saluran drainase juga dilaksanakan untuk menyalurkan air supaya tidak melimpas ke badan jalan. Perbaikan drainase meliputi perbaikan drainase melintang sejumlah 2 (dua) titik dan drainase memanjang. Dinding penahan tanah juga dibangun untuk mendukung fungsi jalan dan drainase.

4.2.3 Analisis Kepadatan Campuran Beraspal

Berdasarkan data kepadatan lapangan campuran beraspal seperti pada Tabel 4.13, maka dilakukan perbandingan terhadap kepadatan laboratorium untuk memperoleh derajat kepadatan atau JSD (*Job Standart Density*). Nilai JSD harus lebih besar dari 98%, sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010 Divisi 6.3. Perhitungan derajat kepadatan adalah (kepadatan laboratorium : kepadatan lapangan) x 100%. Nilai derajat kepadatan adalah sesuai dengan Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Nilai Derajat Kepadatan Campuran Beraspal

| No | STA | Tebal (mm) | Kepadatan Laboratorium (gr/cc) | Kepadatan Lapangan (gr/cc) | Derajat Kepadatan (%) |
|---------------|---------|------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Aspal Karet | | | | | |
| 1 | 0+005 R | 5,09 | 2,247 | 2,174 | 96,75 |
| 2 | 0+050 C | 5,60 | | 2,170 | 96,59 |
| 3 | 0+090 L | 6,14 | | 2,193 | 97,61 |
| Aspal Plastik | | | | | |
| 1 | 0+150 R | 6,52 | 2,252 | 2,169 | 96,33 |
| 2 | 0+200 C | 5,89 | | 2,173 | 96,50 |
| 3 | 0+250 L | 4,42 | | 2,173 | 96,50 |
| 4 | 0+300 R | 6,35 | | 2,170 | 96,35 |
| 5 | 0+350 C | 5,91 | | 2,191 | 97,31 |
| Minimum | | | | 2,169 | 96,33 |
| Maksimum | | | | 2,193 | 97,61 |
| Rata-rata | | | | 2,176 | 96,82 |

4.2.4 Analisis Hasil Uji Ekstraksi

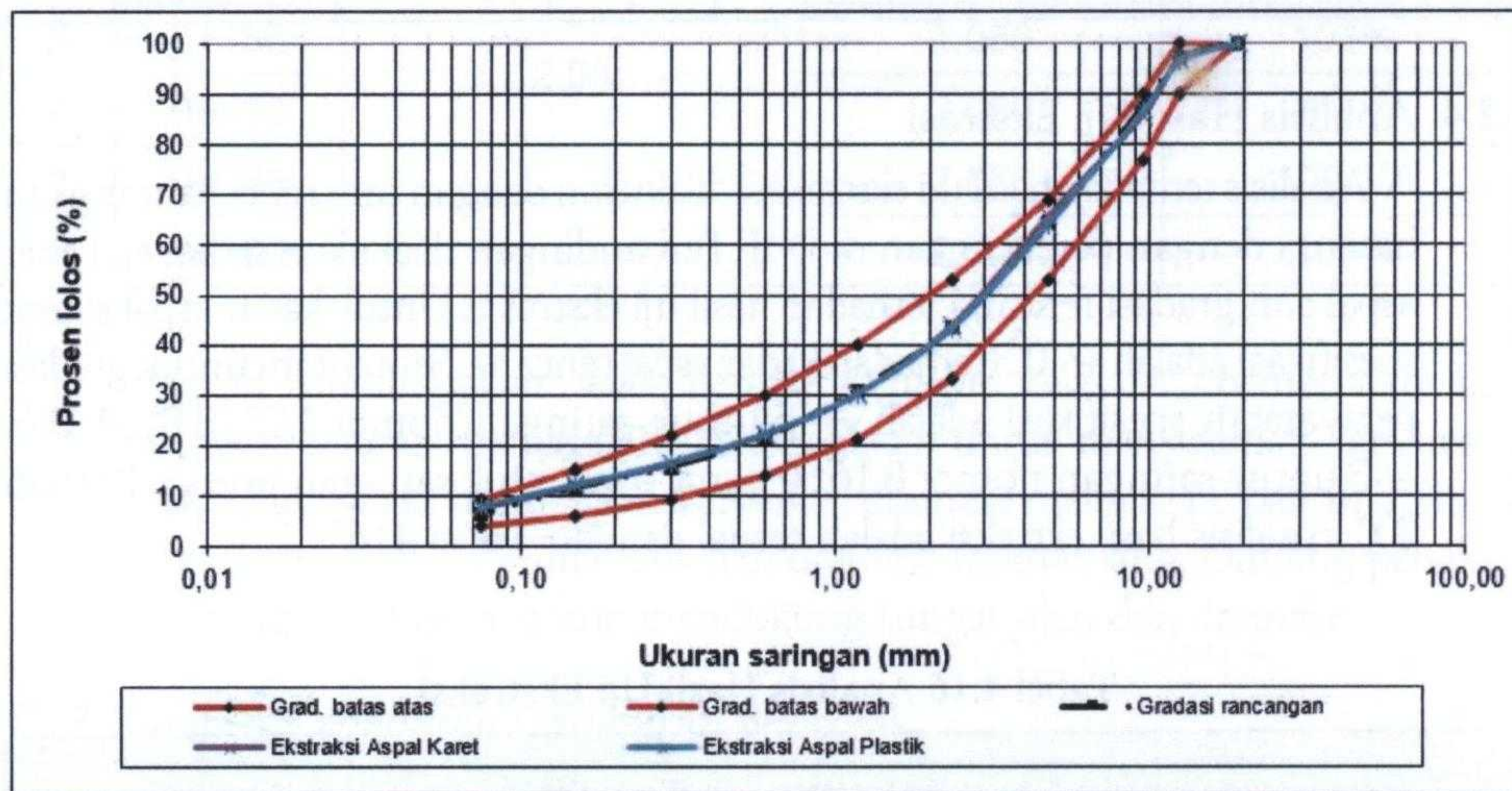
Analisis terhadap hasil uji ekstraksi dilakukan dengan cara membandingkan hasil uji dengan perencanaan di JMF. Perbandingan dilakukan terhadap kadar aspal dan gradasi rencana terhadap hasil uji ekstraksi. Untuk kadar aspal syarat spesifikasi adalah $\pm 0,3$ terhadap kadar aspal rencana. Sementara untuk gradasi persyaratan spesifikasi adalah ± 5 untuk saringan nomor 1/2", 3/8", 4, dan ± 3 untuk saringan nomor 8,16,30, serta ± 2 untuk saringan nomor 100 dan 200. Analisis hasil ekstraksi adalah sesuai dengan Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Analisis Hasil Uji Ekstraksi

| No | Pengujian | JMF | Ekstraksi Aspal Karet | Ekstraksi Aspal Karet | Spesifikasi | Satuan |
|----|-------------|-------|-----------------------|-----------------------|-------------|---------|
| 1 | Kadar Aspal | 6 | 5,87 | 5,79 | $\pm 0,3$ | % |
| 2 | Gradasi | | | | | |
| | #3/4" | 100,0 | 100 | 100 | | % lolos |
| | #1/2" | 97,2 | 96,35 | 96,96 | ± 5 | % lolos |

| No | Pengujian | JMF | Ekstraksi Aspal Karet | Ekstraksi Aspal Karet | Spesifikasi | Satuan |
|----|-----------|------|--------------------------|--------------------------|-------------|---------|
| | #3/8" | 87,4 | 86,69 | 85,86 | +/- 5 | % lolos |
| | # No. 4 | 64,4 | 63,81 | 65,56 | +/- 5 | % lolos |
| | # No. 8 | 43,5 | 43,09 | 43,85 | +/- 5 | % lolos |
| | # No. 16 | 30,8 | 30,06 | 30,14 | +/- 3 | % lolos |
| | # No. 30 | 21,6 | 22,17 | 22,07 | +/- 3 | % lolos |
| | # No. 50 | 15,6 | 16,51 | 16,26 | +/- 3 | % lolos |
| | # No. 100 | 11,6 | 12,16 | 11,91 | +/- 2 | % lolos |
| | # No. 200 | 6,3 | 7,82 | 7,54 | +/- 2 | % lolos |

Untuk hasil ekstraksi gradasi campuran beraspal baik untuk karet maupun plastik, juga dapat dimasukkan ke dalam amplop gradasi agar lebih jelas membandingkan terhadap gradasi rencana. Perbandingan gradasi rencana dan hasil ekstraksi sesuai Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Perbandingan Gradasi Rencana dan Ekstraksi

4.3 Pembahasan

4.3.1 Mutu Agregat

a) Agregat Kelas A

Hasil uji mutu agregat kelas A untuk lapis pondasi atas, seluruhnya memenuhi persyaratan spesifikasi. Derajat kepadatan lapangan juga tercapai karena sudah mencapai lebih dari 100%. Pelaksanaan pemadatan yang menggunakan alat vibro roller mengalami kendala karena getarannya mengganggu warga sekitar lokasi studi. Hal tersebut menyebabkan getaran tidak dapat optimal. Sehingga pada pemadatan pertama, derajat kepadatan belum tercapai dan dilakukan pemadatan ulang untuk mencapai derajat kepadatan >100%.

b) Agregat Campuran Beraspal

Berdasarkan hasil uji mutu agregat untuk campuran beraspal, parameter setara pasir (*sand equivalent* = SE) tidak masuk spesifikasi yaitu minimum 60%. Terkait hal tersebut, pengujian sudah dilakukan terhadap beberapa sumber quari namun sulit untuk memperoleh material agregat halus dengan nilai SE >60%. Kesulitan sumber material dengan kualitas tinggi menjadi kendala dalam memperoleh material SE >60%.

Nilai setara pasir merupakan identifikasi perbandingan antara bahan agregat halus terhadap bahan-bahan yang dapat merugikan mutu campuran seperti bahan yang lunak, seperti kayu, tanah, atau lempung. Semakin tinggi nilai SE maka kandungan bahan yang merugikan semakin rendah dan sebaliknya.

Pada saat pelaksanaan standar spesifikasi untuk SE mengacu ke Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010, namun peraturan baru Bina Marga Tahun 2018 telah terbit, dimana standar nilai SE dirubah menjadi minimum 50%.

4.3.2 Mutu Aspal

Berdasarkan hasil uji terhadap mutu aspal Pen 60/70 untuk campuran aspal plastik, menunjukkan bahwa aspal dari AMP PT. Selo Sakti Perkasa masuk spesifikasi. Untuk aspal karet yang diproduksi oleh PT. Bintang Djaja seluruhnya juga masuk spesifikasi. Namun nilai penetrasi aspal yang diambil rata-rata hampir mendekati ambang batas yaitu 50 dmm. Hal tersebut dimungkinkan oleh adanya proses penuaan aspal karet yang diproduksi pada Mei 2018 dan digunakan pada Oktober 2018.

4.3.3 Kepadatan Lapangan Campuran Beraspal

Berdasarkan hasil pemeriksaan derajat kepadatan campuran beraspal, nilai kepadatan lapangan rata-rata hanya mencapai 96,82%. Jika dilihat per titik, tidak ada derajat kepadatan yang memenuhi persyaratan. Sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2018 Divisi 6.3 bahwa derajat kepadatan lapangan campuran beraspal harus lebih besar dari 98%.

Untuk kegiatan penerapan ini, penyebab tidak masuknya derajat kepadatan untuk campuran beraspal dimungkinkan karena tidak dapat dilaksanakan *trial compaction*. Sehingga penentuan jumlah lintasan didasarkan pada pelaksanaan penerapan sebelumnya. Hal ini dimungkinkan kurangnya jumlah lintasan pada pemadatan sehingga kepadatan lapangan tidak tercapai.

4.3.4 Hasil Ekstraksi

Tujuan uji ekstraksi merupakan pemeriksaan kadar aspal pada campuran aspal yang telah digunakan sebagai bahan perkerasan jalan, apakah kadar aspal yang digunakan sesuai dengan kadar aspal yang direncanakan. Berdasarkan hasil uji, perbandingan kadar aspal rencana terhadap kadar aspal hasil ekstraksi masih dalam rentang yang disyaratkan, yaitu $\pm 0,3$. Kadar aspal rencana adalah 6% dan hasil ekstraksi adalah 5,87% untuk aspal karet dan 5,79% untuk aspal plastik.

Seharusnya, kadar aspal hasil pengujian dan kadar aspal rencana harus sama. Jika kadar aspal yang diperoleh lebih besar dari pada yang direncanakan, maka kemungkinan akan terjadi *bleeding*. Sebaliknya, jika kadar aspal yang diperoleh lebih kecil dari yang direncanakan, maka akan berpengaruh terhadap kemampuannya dalam menahan beban lalu-lintas, karena ikatan antar agregat kurang kuat.

Terkait dengan nilai kadar aspal hasil ekstraksi yang lebih kecil dari kadar yang direncanakan, hal tersebut dimungkinkan karena aspal telah masuk ke dalam pori-pori agregat sehingga tidak dapat terekstraksi secara sempurna. Faktor pengangkutan, pengadukan, dan temperatur pencampuran sampel uji juga memberikan waktu aspal untuk masuk ke dalam pori agregat.

Untuk hasil uji ekstraksi untuk gradasi masuk dalam rentang yang disyaratkan. Gradasi hasil ekstraksi menunjukkan agregat menjadi lebih halus dari gradasi semula, perubahan gradasi agregat tersebut diakibatkan oleh kehancuran pada saat proses pencampuran, beberapa partikel agregat ini yang menjadi penyebab naiknya volume rongga udara dalam campuran yang menghasilkan penurunan kepadatan.

5

PENUTUP

5.1 Penerapan Teknologi Aspal Karet *Masterbatch*

Campuran aspal karet, menggunakan kadar karet alam yaitu 7% terhadap aspal dengan menggunakan *masterbatch* 80:20 (karet alam: 80% dan aspal Pen 60: 20%). Kadar karet tersebut merupakan persentase yang paling efektif untuk peningkatan mutu campuran beraspal.

Seluruh mutu bahan untuk campuran aspal karet memenuhi persyaratan, hanya nilai SE yang di bawah spesifikasi. Nilai SE bahan yang digunakan adalah 51% sedangkan spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3 mensyaratkan harus lebih dari 60%. Namun peraturan tersebut pada saat pelaksanaan telah direvisi oleh spesifikasi umum Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai SE harus lebih besar dari 50%.

Berdasarkan hasil uji *marshall*, kadar aspal optimum (KAO) adalah 6%. Nilai stabilitas untuk campuran aspal karet diperoleh 1161,8kg, lebih tinggi dari nilai minimum yang disyaratkan yaitu 900kg.

Berdasarkan hasil pemeriksaan derajat kepadatan campuran beraspal, nilai JSD untuk aspal karet adalah 96,59% sampai 97,61%. Sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2018 Divisi 6.3 nilai derajat kepadatan tersebut tidak masuk spesifikasi karena kurang dari yang dipersyaratkan yaitu >98%. Hasil uji ekstraksi, kadar aspal untuk campuran aspal karet adalah 5,79%. Untuk gradasi agregat campuran, hasil uji menunjukkan gradasi masuk dalam rentang yang disyaratkan.

5.2 Penerapan Teknologi Aspal Plastik

Kadar plastik cacah yang paling efektif untuk meningkatkan mutu campuran adalah 6% terhadap berat aspal. Limbah plastik cacah yang digunakan telah dikemas dengan berat 3,6kg per *batch*. Limbah plastik

tersebut dimasukan melalui pugmil untuk dicampur dengan agregat kemudian setelah itu disemprotkan aspal.

Nilai SE untuk agregat campuran beraspal tidak memenuhi spesifikasi yaitu hanya 51% dari aturan $>60\%$. Terbatasnya material untuk campuran beraspal menjadi kendala untuk memperoleh material dengan SE yang masuk spesifikasi. Namun peraturan tersebut pada saat pelaksanaan telah direvisi oleh spesifikasi umum Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai SE harus lebih besar dari 50%.

Berdasarkan hasil uji marshall, kadar aspal optimum untuk campuran beraspal dengan limbah plastik cacah adalah 6%. Nilai stabilitas untuk campuran aspal karet diperoleh 1604,5 kg, lebih tinggi dari nilai minimum yang disyaratkan yaitu 900kg.

Berdasarkan hasil pemeriksaan derajat kepadatan campuran beraspal, nilai JSD untuk aspal karet adalah 96,33% sampai 97,31%. Sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2018 Divisi 6.3 nilai derajat kepadatan tersebut tidak masuk spesifikasi karena kurang dari yang dipersyaratkan yaitu $>98\%$. Hasil uji ekstraksi, kadar aspal untuk campuran aspal plastik adalah 5,87%. Untuk gradasi agregat campuran, hasil uji menunjukkan gradasi masuk dalam rentang yang disyaratkan.

5.3 Saran

- 1) Nilai JSD untuk campuran beraspal yang mengharuskan $>98\%$, sulit dicapai. Perlu dikaji ulang terhadap standar tersebut.
- 2) Perlu sortir lebih ketat pada saat pengadaan limbah plastik karena ukurannya masih terlalu besar dan hanya $\pm 50\%$ yang memenuhi persyaratan dari segi ukurannya. Selain itu pada limbah plastik masih banyak bahan pencemar (diluar plastik kerepek LDPE).
- 3) Perlu dilakukan monitoring berkala untuk mengetahui kinerja perkerasan yang telah dihampar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Collin Ruglles (2005). The Use of Natural Rubber Latex in Modified Asphalt Road Binders in the UK.
- Diego Y.S (2010). Pemanfaatan Lateks Karet alam Sebagai Bahan Pemodifikasi aspal Untuk Meningkatkan Mutu Perkerasan Jalan. Departemen Teknologi Industri Pertanian Institut Pertanian Bogor
- Indian Road Congres. IRC:SP:98-2013. (2013). *Guidelines For The Use Of Waste Plastic in Hot Bituminous Mixes (Dry Process) In Wearing Course*. New Delhi India.
- Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. (2013). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 2*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. (2014). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2018*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- Kurniadji (1999) Pengembangan Aspal Karet dalam Meningkatkan Mutu Campuran Perkerasan Jalan . Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan
- Rancangan Pedoman, 2017. "Perancangan dan Pelaksanaan Laston menggunakan Limbah Plastik. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung : Pusjatan
- Rancangan Pedoman, 2017. "Perancangan dan Pelaksanaan Laston dengan aspal yang mengandung karet alam. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung : Pusjatan

- Santo, T (2017). *Penerapan Terbatas Teknologi Aspal Karet dengan Masterbatch*. Laporan Akhir. Balai Litbang Perkerasan Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
- The Asphalt Institute, 1992. Density Specifications for Hot-Mix Asphalt, Technical Bulletin No. 9, Lexington, Kentucky
- Tuntiworawit (2005). "The Modification of asphalt With Natural Rubber Latex". Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 679 - 694, 2005
- Yusep, F (2015). *Pengembangan Teknologi Aspal Karet*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
- Yusep, F (2016). *Pengembangan Teknologi Aspal Karet*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

LAMPIRAN

a. Pilot Project Model Perkerasan Jalan dengan Teknologi Aspal Karet

- Data perencanaan campuran

Gmm: 2,359 Bj. Agregat Bulk: 2,529 Bj. Aspal: 1,034
 Ka Gmm: 6,0 Bj. Agregat Efektif: 2,569 Abs. Aspal: 0,639

- Rancangan Campuran Kepadatan Laboratorium Aspal Karet

| No | Kadar Aspal (%) | Berat Benda Uji (gr) | | | Isi Benda Uji (cc) | Kepadatan (gr/cc) |
|-----------|-----------------|----------------------|---------|-----------|--------------------|-------------------|
| | | Kering | SSD | Dalam Air | | |
| 1 | 6,0 | 1203,2 | 1204,9 | 668,8 | 536,1 | 2,244 |
| 2 | 6,0 | 1203,2 | 1205,4 | 670,8 | 534,6 | 2,251 |
| 3 | 6,0 | 1201,8 | 1203,6 | 666,7 | 536,9 | 2,238 |
| 4 | 6,0 | 1203,6 | 1206,0 | 672,8 | 533,2 | 2,257 |
| 5 | 6,0 | 1201,2 | 1204,2 | 668,3 | 535,9 | 2,241 |
| 6 | 6,0 | 1204,7 | 1207,2 | 671,6 | 535,6 | 2,249 |
| Rata-rata | 6,0 | 1202,95 | 1205,22 | 669,83 | 535,38 | 2,247 |

- Kepadatan Lapangan dari Hasil *Coredrill* Aspal Karet

| No | Berat Benda Uji (gr) | | | Isi Benda Uji (cc) | Kepadatan (gr/cc) |
|-----------|----------------------|--------|-----------|--------------------|-------------------|
| | Kering | SSD | Dalam Air | | |
| 1 | 849,2 | 859,6 | 468,9 | 390,7 | 2,174 |
| 2 | 946,7 | 956,0 | 519,8 | 436,2 | 2,170 |
| 3 | 975,8 | 991,0 | 546,1 | 444,9 | 2,193 |
| Rata-rata | 923,9 | 935,53 | 511,6 | 423,9 | 2,179 |

- Hasil Uji Coba Skala Penuh di Lapangan Aspal Karet

Penerapan teknologi aspal karet adalah sepanjang 90m, dengan lebar 4,65m, serta tebal 0,05m. Berikut adalah gambar hasil penerapan teknologi aspal karet.



b. Pilot Project Model Perkerasan Jalan dengan Teknologi Aspal Plastik

- Rancangan Campuran Kepadatan Laboratorium Aspal Plastik







| No | Kadar Aspal (%) | Berat Benda Uji (gr) | | | Isi Benda Uji (cc) | Kepadatan (gr/cc) |
|-----------|-----------------|----------------------|--------|-----------|--------------------|-------------------|
| | | Kering | SSD | Dalam Air | | |
| 1 | 6,0 | 1193,9 | 1195,4 | 667,0 | 528,4 | 2,259 |
| 2 | 6,0 | 1196,8 | 1199,3 | 666,3 | 533,0 | 2,245 |
| 3 | 6,0 | 1202,0 | 1204,8 | 670,2 | 534,6 | 2,248 |
| 4 | 6,0 | 1205,5 | 1208,3 | 672,6 | 535,7 | 2,250 |
| 5 | 6,0 | 1201,1 | 1204,2 | 669,3 | 534,9 | 2,245 |
| 6 | 6,0 | 1204,8 | 1207,7 | 672,2 | 535,5 | 2,250 |
| Rata-rata | 6,0 | 1200,7 | 1203,3 | 669,6 | 533,7 | 2,250 |

- Kepadatan Lapangan dari Hasil *Coredrill* Aspal Plastik

| No | Berat Benda Uji (gr) | | | Isi Benda Uji (cc) | Kepadatan (gr/cc) |
|-----------|----------------------|--------|-----------|--------------------|-------------------|
| | Kering | SSD | Dalam Air | | |
| 1 | 1112,7 | 1120,8 | 607,9 | 512,9 | 2,169 |
| 2 | 939,5 | 944,6 | 512,3 | 432,3 | 2,173 |
| 3 | 658,5 | 662,8 | 359,8 | 303,0 | 2,173 |
| 4 | 1020,5 | 1026,6 | 556,3 | 470,3 | 2,170 |
| 5 | 948,4 | 955,8 | 523,0 | 432,8 | 2,191 |
| Rata-rata | 935,9 | 942,1 | 511,9 | 430,3 | 2,175 |

- Hasil Uji Coba Skala Penuh di Lapangan Aspal Plastik

Penerapan teknologi aspal plastik adalah sepanjang 320m, dengan lebar 4,65m, serta tebal 0,05m. Berikut adalah gambar hasil penerapan teknologi aspal plastik.

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| KM 0+125 | KM 0+200 | KM 0+275 |
| Gambar lokasi sebelum penerapan teknologi aspal plastik | | |
|  |  |  |
| KM 0+125 | KM 0+200 | KM 0+275 |
| Gambar lokasi setelah penerapan teknologi aspal plastik | | |