

# EFEKTIFITAS SABUT KELAPA SEBAGAI *STABILIZING AGENT* DALAM CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT* AGREGAT SLAG NIKEL

Abdias Tandy Arrang<sup>1</sup>, Rita Irmawaty<sup>2</sup>, Rudy Djamaluddin<sup>3</sup>, dan Herman Parung<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp 0811422111, E mail: [dias\\_tandy@gmail.com](mailto:dias_tandy@gmail.com)

<sup>2</sup>Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa Telp 08114619672, E mai ; [Rita\\_irmaway@yahoo.co.id](mailto:Rita_irmaway@yahoo.co.id)

<sup>3</sup>Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa Telp 0811466610, E mai ; [rudy0011@gmail.com](mailto:rudy0011@gmail.com)

<sup>4</sup>Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 087840023116, E mail: [parungherman@gmail.com](mailto:parungherman@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sabut kelapa sebagai stabilizing agent dalam mengurangi nilai *draindown* pada campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) yang menggunakan agregat kasar slag nikel. Sabut kelapa dengan panjang serat  $\pm 6$  mm digunakan dalam campuran aspal dengan komposisi 0,3% terhadap berat campuran. Pengujian *draindown* dilakukan sesuai dengan metode AASHTO T 305-97 pada berbagai kadar aspal (6,0%, 6,25%, 6,5%, 6,75%, dan 7,0%) serta variasi kandungan slag nikel (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%). Hasil uji menunjukkan bahwa penggunaan sabut kelapa secara umum mampu mengurangi nilai *draindown* pada campuran SMA. Namun, pada kadar aspal tertinggi (7,0%) dengan kandungan slag nikel 100%, sabut kelapa dengan konsentrasi 0,3% belum mampu menahan laju *draindown* hingga memenuhi syarat maksimal yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga, yaitu 0,3%. Sebaliknya, pada kandungan slag nikel yang lebih rendah (0% hingga 75%), *draindown* berada dalam batas yang diizinkan. Berdasarkan hasil ini, meskipun sabut kelapa menunjukkan potensi sebagai *stabilizing agent*, penyesuaian lebih lanjut terhadap komposisi sabut kelapa atau modifikasi campuran diperlukan untuk meningkatkan efektivitasnya pada kondisi dengan kadar aspal dan kandungan slag nikel yang lebih tinggi. Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai peran sabut kelapa dalam meningkatkan stabilitas campuran aspal dan membuka peluang untuk eksplorasi lebih lanjut dalam pengembangan material konstruksi yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Sabut Kelapa, *Draindown*, *Stone Mastic Asphalt*, Slag Nikel, *Stabilizing Agent*.

## 1. PENDAHULUAN

Konstruksi perkerasan jalan yang berkualitas tinggi dan tahan lama merupakan salah satu aspek penting dalam pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan. *Stone Matrix Asphalt* (SMA) dikenal sebagai salah satu jenis campuran aspal yang memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi permanen serta memberikan umur layanan yang lebih panjang dibandingkan campuran aspal konvensional. Namun, salah satu tantangan utama dalam penggunaan SMA adalah masalah *draindown* aspal, yaitu migrasi aspal dari agregat selama proses pencampuran, pengangkutan, dan pematatan, yang dapat mengurangi kualitas dan performa perkerasan.

SMA adalah jenis campuran aspal yang dirancang khusus untuk aplikasi perkerasan jalan dengan beban lalu lintas tinggi. Menurut (Lavasani et al., 2015)(AASHTO, 2012), SMA terdiri dari kerangka agregat kasar dengan kontak batu-ke-batu dan mortar pengikat aspal yang kaya akan aspal. SMA pertama kali dikembangkan di Eropa pada 1960-an dan sejak itu telah diadopsi secara luas karena keunggulannya dalam ketahanan terhadap deformasi permanen dan umur layanan yang panjang (Devulapalli et al., 2022). Struktur agregat kasar yang membentuk rangka dalam campuran SMA berfungsi untuk menahan beban, sementara mortar yang mengisi rongga antar agregat terdiri dari campuran aspal, *filler*, agregat halus, dan *stabilizer*. SMA dikenal sebagai campuran aspal dengan gradasi agregat senjang, yang memungkinkan kontak batu-ke-batu yang kuat, sehingga memberikan stabilitas dan durabilitas yang tinggi (Mallick & El-Korchi, 2011). Penggunaan SMA di Amerika Serikat dimulai pada awal 1990-an setelah penelitian yang dilakukan di Eropa menunjukkan bahwa SMA memiliki kinerja yang sangat baik untuk perkerasan jalan yang melayani lalu lintas tinggi. Keunggulan SMA dibandingkan dengan campuran aspal konvensional termasuk umur layanan yang lebih panjang, ketahanan terhadap *rutting*, peningkatan ketahanan friksi, dan kemampuan untuk mereduksi kebisingan dan cipratan air, yang memberikan manfaat keselamatan tambahan bagi pengguna jalan (NAPA, 2002). Namun, SMA juga memiliki tantangan, terutama dalam hal potensi terjadinya *draindown* aspal, di mana aspal terpisah dari agregat selama proses pencampuran atau pengangkutan (Brown et al., 1997).

*Draindown* aspal merupakan salah satu masalah utama dalam campuran SMA, di mana aspal yang berlebihan cenderung mengalir keluar atau terdrainase dari campuran, terutama saat transportasi material campuran atau saat penghamparan di lapangan. Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan *stabilizing agent* telah menjadi pendekatan yang umum digunakan. *Stabilizing agent* berfungsi untuk meningkatkan viskositas aspal atau menyerap aspal, sehingga mencegahnya mengalir keluar dari campuran. Berbagai jenis *stabilizing agents* telah dimanfaatkan, termasuk

serat selulosa, serat mineral, dan bahan berbasis polimer (Blazejowski, 2016). Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan *stabilizing agent* dalam campuran SMA menjadi fokus penelitian. Sabut kelapa, sebagai salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, menawarkan potensi sebagai agen penstabil yang ramah lingkungan. Sabut kelapa memiliki serat yang kuat dan tahan lama, sehingga dapat membantu mengikat aspal dalam campuran untuk mengurangi risiko *draindown*. Penggunaan sabut kelapa sebagai agen penstabil tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan performa teknis campuran aspal, tetapi juga untuk memanfaatkan limbah alam yang berlimpah dan kurang dimanfaatkan. Selain itu, penggunaan agregat alternatif seperti slag nikel, yang merupakan limbah industri dari proses peleburan nikel, menjadi solusi potensial dalam mengurangi penggunaan agregat alam yang semakin terbatas. Slag nikel memiliki karakteristik fisik yang mendukung penggunaannya sebagai agregat kasar dalam campuran aspal, termasuk daya tahan yang tinggi dan stabilitas yang baik.

Sabut kelapa, yang merupakan salah satu jenis serat alami yang melimpah di Indonesia, telah diteliti sebagai *stabilizing agent* yang potensial untuk campuran SMA. Sabut kelapa memiliki sifat mekanis yang baik, termasuk kekuatan tarik yang tinggi dan kemampuan untuk menyerap aspal, yang dapat membantu mengurangi drain down aspal dalam campuran. Penelitian penggunaan serat selulosa seperti: serat sisal, serat sabut kelapa, serat batang pisang, serat jute terbukti dapat mengurangi terjadinya *draindown* hingga 50%. Berbagai dosis penggunaan serat selulosa dalam penelitian berkisar dari 0,1% - 0,5% namun berdasarkan hasil penelitian disarankan 0,3% (Kumar et al., 2004); (Sharma & Goyal, 2006); (Oda et al., 2012); (Panda et al., 2013); (Awanti, 2013); (Lavasani et al., 2015); (AlSaadi et al., 2023); (Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020).

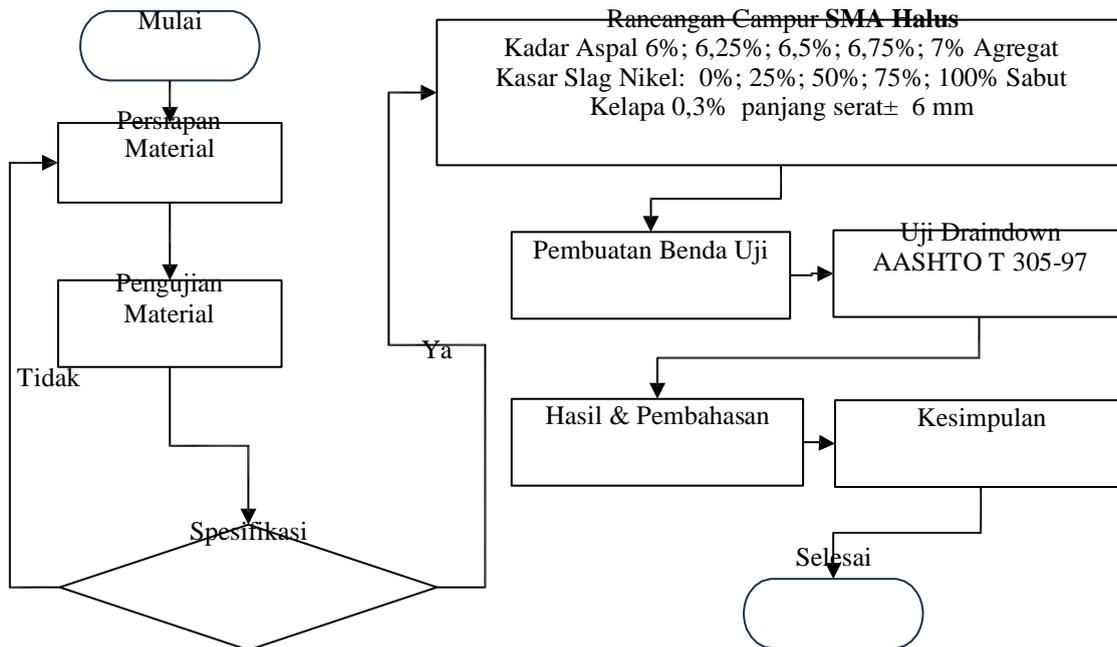
Agregat merupakan komponen terbesar dalam campuran aspal, mencakup sekitar 90% dari sisi berat campuran atau 75%-85% dari volumenya, dan sisanya terdiri dari *filler* dan bitumen. Oleh karena itu, diperlukan banyak penelitian untuk menemukan sumber agregat baru. Indonesia, sebagai penghasil nikel terbesar di dunia dengan produksi 1,6 juta metrik ton pada tahun 2022, memiliki cadangan nikel dunia sebesar 139,419 juta metrik ton, di mana lebih dari setengahnya atau sekitar 52% berada di Indonesia. Sebagian besar cadangan nikel Indonesia terletak di Morowali, Sorowako, Kolaka, Konawe, dan Tanjung Buli. Proses produksi nikel menghasilkan limbah berupa slag nikel yang mencapai 13 juta metrik ton per tahun. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22/2021 telah mengeluarkan sembilan jenis limbah dari daftar bahan berbahaya dan beracun (B3), termasuk slag nikel (Kemenperin, 2020); (Pristiandaru, 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan slag nikel sebagai agregat dalam campuran perkerasan aspal menjadi semakin menarik untuk diteliti. Proses pengolahan nikel tidak hanya memproduksi logam nikel, tetapi juga menghasilkan limbah berupa slag nikel selama tahap peleburan. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini berpotensi menjadi sumber polusi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang berkelanjutan untuk pengelolaan slag nikel guna menjaga keseimbangan antara perkembangan industri dan kelestarian lingkungan. Komposisi kimia slag nikel yang mengandung silika, magnesium, kalsium, dan besi menunjukkan bahwa material ini memiliki kekerasan yang cukup untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi.

Berikut adalah beberapa penelitian terkait penggunaan slag nikel dalam campuran aspal. Penelitian (Bethary & Intari, 2022) mendalami penggunaan slag nikel dari smelter PT Growth Java Industri, Banten, sebagai agregat kasar dalam campuran AC-BC. Penelitian pemanfaatan slag nikel dari PT Vale, Sorowako, sebagai agregat halus dalam campuran AC-BC (Jusmidah et al., 2021). Selain itu, (Kamba & Rachman, 2018) juga menggunakan slag nikel dari PT Vale sebagai agregat halus dalam campuran aspal semi senjang HRS-Base. Kajian lain dilakukan dengan memfokuskan pada penggunaan slag nikel dari PT Aneka Tambang, Kolaka, sebagai pengganti agregat halus dalam campuran AC-Base (Angka & Kushari, 2017). Hasil penelitian-penelitian di atas menunjukkan bahwa penggunaan material slag nikel memenuhi persyaratan kinerja sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan 2018 Revisi 2, baik dari segi stabilitas, kelelahan (flow), maupun sifat volumetrik Marshall seperti VIM, VMA, dan VFA.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi sabut kelapa sebagai *stabilizing agent* dalam campuran aspal SMA dengan variasi slag nikel agregat kasar yang dikombinasikan dengan agregat lokal. Penelitian ini juga mempertimbangkan variasi kadar aspal untuk menentukan pengaruhnya terhadap *draindown* dalam campuran SMA. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan formulasi campuran SMA yang lebih optimal, tahan lama, dan berkelanjutan, yang juga mendukung penggunaan bahan-bahan ramah lingkungan dan limbah industri.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sabut kelapa sebagai agen penstabil dalam campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) gradasi halus dengan variasi kadar aspal dan agregat slag nikel. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Aspal dan Jalan Fakultas Teknik Univeristas Kristen Indonesia Palulus, Makassar, Sulawesi Selatan. Pada Gambar 1 menunjukkan bagan alir penelitian yang dilakukan untuk memperoleh hasil dari tujuan penelitian ini.



**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian

Jumlah benda uji dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Jumlah Benda Uji

| Kadar Aspal     | Variasi Slag Nikel (SN) dalam Agregat Kasar |        |        |        |         | Jumlah Benda Uji |
|-----------------|---|--------|--------|--------|---------|------------------|
|                 | SN 0%                                       | SN 25% | SN 50% | SN 75% | SN 100% |                  |
| 6 %             | 3   | 3      | 3      | 3      | 3       | 15               |
| 6,25 %          | 3   | 3      | 3      | 3      | 3       | 15               |
| 6,5 %           | 3   | 3      | 3      | 3      | 3       | 15               |
| 6,75 %          | 3   | 3      | 3      | 3      | 3       | 15               |
| 7 %             | 3   | 3      | 3      | 3      | 3       | 15               |
| Total Benda Uji |   |        |        |        |         | 75               |

Pengujian *draindown* aspal mengacu pada (AASHTO, 1997). Material penyusun dicampur pada suhu sesuai persyaratan spesifikasi, dalam penelitian ini berkisar 155 °C. Material campuran dalam keranjang uji dilektakkan di atas talam atau wadah kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu 155 °C. Durasi benda uji di dalam oven adalah 60 menit, kemudian dikeluarkan dan nilai *draindown* dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$Draindown (\%) = \left( \frac{(W_c + W_d) - W_s}{W_s} \right) \times 100 \%$$

(1)

Dimana:  $W_c$  = Berat wadah kosong (gr),  $W_d$  = Berat material yang terkumpul dalam wadah setelah pengujian (berat akhir wadah termasuk material *draindown*),  $W_s$  = Berat total sampel campuran aspal awal sebelum pengujian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Uji Material Penyusun

Pengujian terhadap material penyusun merupakan bagian penting dalam penentuan kualitas campuran aspal. Material agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan agregat lokal hasil produksi *crusher* yang berasal dari Sungai Bili Bili, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa yang divariasikan dengan slag nikel asal PT Vale Indonesia, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, keduanya di Provinsi Sulawesi Selatan. Gambar lokasi pengambilan material dapat dilihat pada Gambar 2. Jenis slag nikel yang digunakan merupakan slag nikel yang diperoleh dengan metode pendinginan udara (*air cooled slag nickel*). Agregat halus yang digunakan merupakan juga merupakan hasil *crusher* agregat lokal dari Sungai Bili Bili. Sabut kelapa yang digunakan sebagai *stabilizing agent* dalam penelitian ini diperoleh dari pengrajin sabut kelapa yang ada di Kota Makassar. Panjang serat sabut kelapa  $\pm 6$  mm. Gambar 3 dan 4 memperlihatkan agregat kasar dan sabut kelapa yang digunakan dalam penelitian ini. Sementara untuk hasil uji karakteristik agregat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 2 dan Tabel 3.



**Gambar 2.** Lokasi Pengambilan Material Agregat Kasar



**Gambar 3.** Agregat Lokal Bili Bili dan Slag Nikel Sorowako



**Gambar 4.** *Stabilizing Agent* Sabut Kelapa

**Tabel 2.** Hasil Uji Karakteristik Agregat Kasar

| Pengujian             | Spesifikasi | Hasil Uji Agregat Kasar |               |
|-----------------------|-------------|-------------------------|---------------|
|                       |             | Lokal                   | Slag Nikel    |
| Abrasi                | Maks 30%    | 16,34%                  | 11,42 %       |
| Berat Jenis Kasar     |             |                         |               |
| Bulk                  | 2,5         | 2,59                    | 2,89          |
| SSD                   | 2,5         | 2,64                    | 2,92          |
| Apparent              | 2,5         | 2,73                    | 2,99          |
| Penyerapan            | < 3         | 2,03                    | 0,86          |
| Pipih & Lonjong (1:5) | <5%         | 2,63% & 2,35%           | 1,13% & 1,06% |
| Angularitas           | 100/90      | 100/90                  | 100/97        |

Hasil uji terhadap agregat kasar yang digunakan, baik agregat lokal Bili Bili maupun slag nikel asal PT Vale keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi sebagai agregat kasar. Slag nikel memiliki karakteristik yang lebih solid dan tahan aus dibandingkan agregat lokal. Nilai ketahanan aus slag nikel dalam penelitian ini memiliki nilai abrasi hanya sebesar 11,42% jika dibandingkan dengan slag nikel dalam penelitian (Bethary & Intari, 2022) yaitu sebesar 23,62%, nampak bahwa slag nikel asal PT Vale lebih tahan abrasi dibandingkan slag nikel PT Growth Java Industry.

**Tabel 3.** Hasil Uji Karakteristik Agregat Halus

| Pengujian                     | Spesifikasi | Hasil Uji |
|-------------------------------|-------------|-----------|
| Nilai Setara Pasir            | Min. 12 %   | 95,51 %   |
| Material Lolos Ayakan No. 200 | Maks. 1 %   | 0,38 %    |

Aspal yang digunakan adalah aspal minyak penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Hasil pengujian karakteristik aspal yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. Terhadap hasil pengujian karakteristik pada tabel tersebut, dapat diyakini bahwa aspal yang digunakan memenuhi persyaratan spesifikasi.

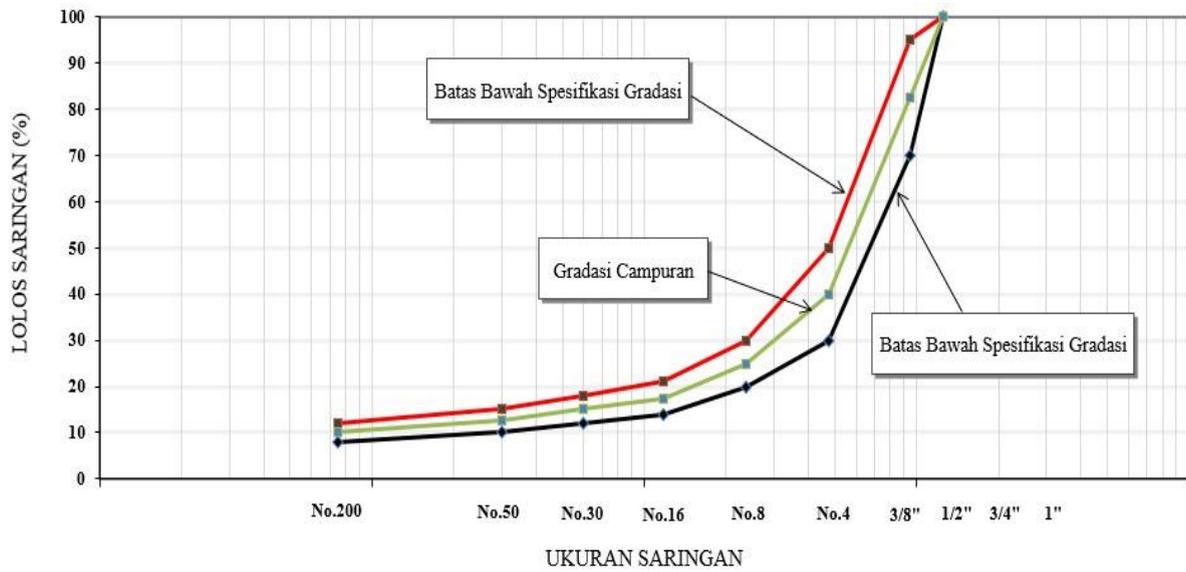
**Tabel 4.** Hasil Uji Karakteristik Aspal

| Pengujian                | Spesifikasi | Hasil Uji |
|--------------------------|-------------|-----------|
| Berat Jenis Aspal        | 1,0         | 1,058     |
| Penetrasi 25 °C (0,1 mm) | 60 - 70     | 67,9      |
| Titik Lembek (°C)        | 48          | 54,2      |
| Daktilitas 25 °C (cm)    | 100         | 137,67    |
| Titik Nyala (°C)         | 232         | 270       |

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah Semen Tonasa tipe PCC dengan berat jenis 2,71. Karakteristik material di atas memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai material penyusun campuran *stone matrix asphalt*.

### 3.2 Gradasi Campuran

Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi tengah dari campuran SMA halus yang mengacu pada SNI 8129:2015 Spesifikasi *Stone Matrix Asphalt* dan Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 seperti pada Gambar 5. Pemilihan gradasi tengah ini didasarkan pada pertimbangan bahwa gradasi tersebut merupakan rata-rata dari batas atas dan batas bawah yang diizinkan sesuai dengan standar. Gradasi tengah ini dipilih untuk memastikan bahwa campuran aspal berada dalam kisaran optimal yang seimbang, sehingga diharapkan dapat memenuhi kriteria stabilitas dan fleksibilitas yang diperlukan untuk kinerja perkerasan yang baik. Dengan memilih gradasi tengah, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan representasi yang akurat dari performa campuran SMA yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Dokumentasi proses penelitian di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 6.



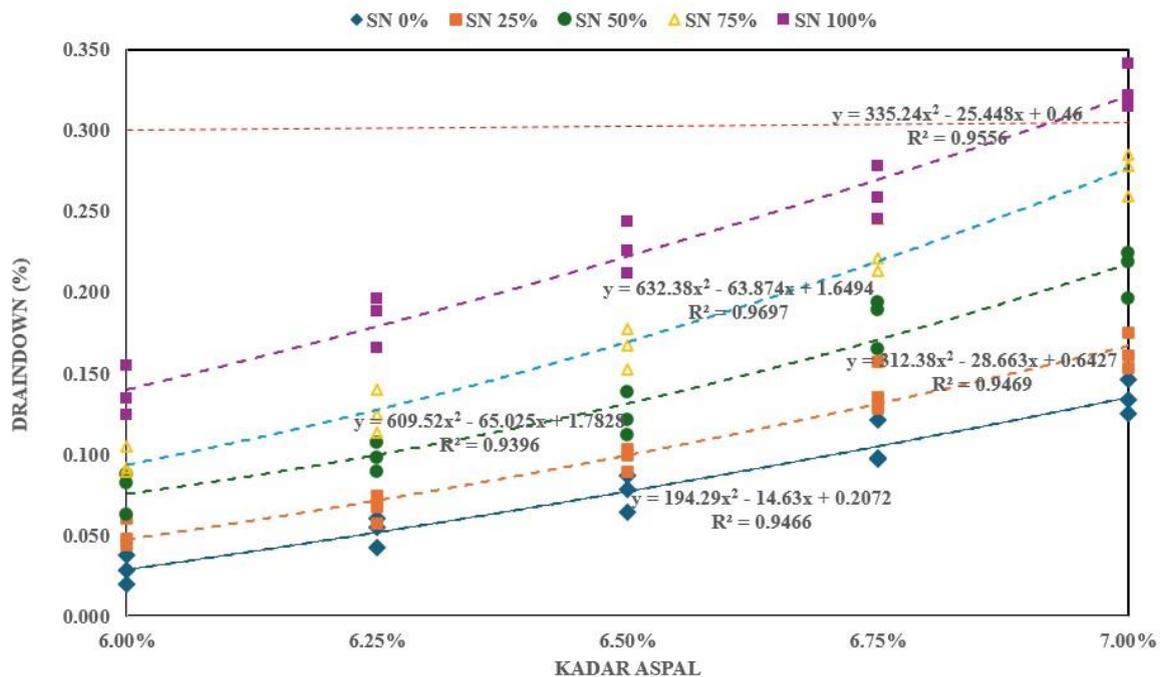
**Gambar 5.** Gradasi Campuran SMA Halus yang digunakan



**Gambar 6.** Dokumentasi Penelitian

### 3.3 Hasil Uji *Draindown*

Setelah melakukan rangkaian penelitian untuk memperoleh nilai *draindown* campuran SMA halus yang menggunakan slag nikel sebagai agregat kasar dengan berbagai variasi kadar aspal. Hasil pengujian tersebut dipaparkan dalam grafik pada Gambar 7.



Gambar 7. Dokumentasi Penelitian

Grafik hasil uji menunjukkan hubungan antara kadar aspal dan persentase *draindown* pada berbagai komposisi slag nikel (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%). Pada SN 0% (tanpa slag nikel) menunjukkan *draindown* terendah dan jauh di bawah batas yang diizinkan (0,3%), ini menunjukkan bahwa agregat lokal memberikan kohesi yang baik dengan aspal. Sedangkan pada kondisi SN 100% (100% slag nikel) menunjukkan *draindown* tertinggi, mendekati atau bahkan melebihi batas 0,3% yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2, mengindikasikan bahwa agregat slag nikel, meskipun memiliki keunggulan fisik tertentu, memerlukan modifikasi dalam campuran untuk memenuhi persyaratan ini.

Dari data karakteristik material, beberapa faktor berat jenis agregat mempengaruhi *draindown* campuran aspal. Berat jenis slag nikel yang lebih tinggi (bulk: 2,89, SSD: 2,92, apparent: 2,99) dibandingkan agregat lokal (bulk: 2,59, SSD: 2,64, apparent: 2,73) menunjukkan bahwa slag nikel adalah material yang padat. Namun, penyerapan air yang sangat rendah (0,86) pada slag nikel berkontribusi terhadap kurangnya kohesi antara aspal dan agregat, yang memicu peningkatan *draindown*.

Sabut kelapa sebagai *stabilizing agent* terbukti efektif dalam mengurangi *draindown* pada campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA). Namun, pada kadar aspal sebesar 7% dengan komposisi slag nikel (SN) mencapai 100%, sabut kelapa dengan konsentrasi 0,3% masih belum mampu sepenuhnya menahan laju *draindown* hingga berada di atas batas maksimum yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (< 0,3%). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sabut kelapa memiliki potensi untuk meningkatkan kohesi campuran, perlu dilakukan penyesuaian terhadap komposisi sabut kelapa atau pendekatan tambahan lainnya untuk memastikan bahwa *draindown* tetap dalam batas yang diizinkan, terutama pada campuran dengan kadar aspal dan slag nikel yang tinggi. Efektifitas sabut kelapa dalam mengurangi drainase aspal dalam campuran sejalan dengan penelitian yang lain juga menggunakan serat alami sebagai *stabilizing agent*. Penelitian (Ferreira da Costa et al., 2020) yang menggunakan serat batang pisang sebesar 0,5% diperoleh nilai *draindown* pada kisaran 0,05 % - 0,23 %. Serat kelapa dengan kadar 0,5% dapat menahan laju drainase aspal dari campuran, diperoleh nilai hanya sebesar 0,05% pada suhu 165 °C dan 0,23% pada suhu 180 °C (Vale et al., 2014).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sabut kelapa terbukti efektif sebagai *stabilizing agent* dalam campuran SMA yang menggunakan slag nikel sebagai agregat kasar. Kemampuan penyerapan air yang tinggi dari sabut kelapa dapat meningkatkan kohesi dalam campuran sehingga mengurangi risiko *draindown* yang lebih tinggi terkait dengan penggunaan slag nikel sebagai agregat kasar. Namun pada kadar aspal 7% dan kandungan slag nikel 100% sebagai agregat kasar, nilai *draindown* sedikit di atas 0,3% sebagai persyaratan maksimal. Slag nikel memiliki karakteristik fisik yang baik sebagai agregat kasar, seperti berat jenis yang tinggi dan keausan rendah. Namun, penyerapan air yang rendah membuatnya kurang optimal dalam menjaga aspal tetap melekat pada agregat, sehingga sedikit meningkatkan risiko *draindown*.

### Saran

1. Komposisi sabut kelapa yang digunakan perlu dioptimalkan untuk memastikan bahwa penambahan *stabilizing agent* ini memberikan efek maksimal dalam mengurangi *draindown* tanpa mengurangi aspek mekanis campuran lainnya.
2. Disarankan melakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan komposisi optimal antara slag nikel, sabut kelapa, dan aspal dalam campuran SMA. Penelitian ini juga harus mempertimbangkan variasi kondisi lingkungan seperti suhu tinggi dan beban lalu lintas yang berat untuk memastikan performa yang konsisten.
3. Pada implementasi di lapangan harus disertai dengan kontrol kualitas yang ketat, terutama dalam hal kadar air dan distribusi sabut kelapa dalam campuran, untuk menghindari inkonsistensi dalam performa material.

### DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2012). R 46-08, Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt. In *AASHTO*. AASHTO. <http://www.fda.gov/downloads/AdvisoryCommittees/CommitteesMeetingMaterials/TobaccoProductsScientificAdvisoryCommittee/UCM247549.pdf>
- AASHTO. (1997). *AASHTO T 305-97, Standard Method of Test for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*.
- AlSaadi, I., Tayh, S. A., Jasim, A. F., & Yousif, R. (2023). The use of natural fibers in stone mastic asphalt mixtures: a review of the literature. *Archives Of Civil Engineering, LXIX*(3), 347–370. <https://doi.org/10.24425/ace.2023.146085>
- Angka, A. B., & Kushari, K. (2017). Slag nikel sebagai bahan substitusi pada karakteristik campuran AC-Base. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M), 2017*, 89–94.
- Awanti, S. S. (2013). Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 104*, 59–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.098>
- Bethary, R. T., & Intari, D. E. (2022). Penggunaan Limbah Slag Nikel Untuk Material Jalan Ramah Lingkungan. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil, 11*(1), 34–43.
- Blazejowski, K. (2016). Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice. In *Stone Matrix Asphalt*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10285>
- Brown, E. R., Mallick, R. B., Haddock, J. E., & Bukowski, J. (1997). *Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) Mixtures in the United States*. <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/13985>
- Devulapalli, L., Sarang, G., & Kothandaraman, S. (2022). Characteristics of aggregate gradation, drain down and stabilizing agents in stone matrix asphalt mixtures: A state of art review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 9*(2), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.10.007>
- Ferreira da Costa, L., Lucena, L. C. de F. L., Lucena, A. E. de F. L., & Grangeiro de Barros, A. (2020). Use of banana fibers in SMA mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering, 32*(1), 4019341.
- Jusmidah, Antarksa, Wisnumurti, & Basri Said, L. (2021). *Value Of Indirect Tensile Strength And Deformation On Ac-Bc Asphalt Mixture Using Nickel Slag As A Fine Aggregate* (Vol. 10, Issue 4, pp. 149–155). [www.ijstr.org](http://www.ijstr.org)
- Kamba, C., & Rachman, R. (2018). Marshall Characteristics Test On Hot Rolled Sheet Base Combine Using Nickel Slag For Half Gap Graded. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 5*(3), 14–19.
- Kemenperin. (2020). *Kemenperin Angkat Potensi Slag Nikel Jadi Bahan Baku Industri*. <https://kemenperin.go.id/artikel/21806/Kemenperin-Angkat-Potensi-Slag-Nikel-Jadi-Bahan-Baku-Industri>
- Kumar, P., Sikdar, P. K., Bose, S., & Chandra, S. (2004). Use of jute fibre in stone matrix asphalt. *Road Materials and Pavement Design, 5*(2), 239–249.

- Lavasani, M., Latifi Namin, M., & Fartash, H. (2015). Experimental investigation on mineral and organic fibers effect on resilient modulus and dynamic creep of stone matrix asphalt and continuous graded mixtures in three temperature levels. *Construction and Building Materials*, 95, 232–242.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.146>
- Mallick, R. B., & El-Korchi, T. (2011). Pavement engineering: Principles and practice. In *Pavement Engineering: Principles and Practice*.
- NAPA, N. A. P. A. (2002). *SMA Guideline QIS122- Designing and constructing SMA Mixtures* (p. 99).
- Oda, S., Leomar Fernandes, J., & Ildefonso, J. S. (2012). Analysis of use of natural fibers and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 26(1), 13–20.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.030>
- Panda, M., Suchismita, A., & Giri, J. (2013). Utilization of Ripe Coconut Fiber in Stone Matrix Asphalt Mixes. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2(4), 289–302.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1260/2046-0430.2.4.289>
- Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, K. (2020). *Spesifikasi Umum 2018 untuk Jalan dan Jembatan Revisi 2*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.  
[https://simk.bpjt.pu.go.id/file\\_uploads/ketentuan/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2-no-161sedb2020\\_pdf\\_22-02-2022\\_06-46-35.pdf](https://simk.bpjt.pu.go.id/file_uploads/ketentuan/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2-no-161sedb2020_pdf_22-02-2022_06-46-35.pdf)
- Pristiandaru, D. L. (2023). *Ini Deretan Negara Penghasil Nikel di Dunia, Indonesia Nomor Satu Artikel ini telah tayang di Kompas.com dengan judul “Ini Deretan Negara Penghasil Nikel di Dunia, Indonesia Nomor Satu”, Klik untuk baca: <https://lestari.kompas.com/read/2023/05/21/>. Lestari.Kompas.Com.*  
<https://lestari.kompas.com/read/2024/08/21/180000186/ini-deretan-negara-penghasil-nikel-di-dunia-indonesia-nomor-satu?page=all#:~:text=Tujuan%20Terkait-,Ini%20Deretan%20Negara%20Penghasil%20Nikel%20di%20Dunia%2CIndonesia%20Nomor%20Satu,-Kompas.com> - 21
- Sharma, V., & Goyal, S. (2006). Comparative study of performance of natural fibres and crumb rubber modified stone matrix asphalt mixtures. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(2), 134–139.
- Vale, A. C. do, Casagrande, M. D. T., & Soares, J. B. (2014). Behavior of natural fiber in stone matrix asphalt mixtures using two design methods. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(3), 457–465.