

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perluasan prasarana jalan raya ialah proyek yg melibatkan alat berat. Bahan bakar solar diperlukan buat menjalankan alat berat ini. Salah satu alat yg mengkonsumsi bahan bakar pada jumlah besar ialah Asphalt Mixing Plant (AMP). Component AMP sendiri yang paling banyak mengkonsumsi bahan bakar solar ialah pengering agregat, yang pada AMP dioperasikan secara batch dengan kapasitas 0,8 ton per campuran. Rata-rata konsumsi bahan bakar solar produksi 13-15 liter per ton hot mix. Harga solar sangat fluktuatif dan sangat bergantung pada perubahan harga minyak dunia akibatnya sulit dalam dikendalikan. Indonesia merupakan negara dengan pembangkit tenaga listrik energi fosil dan menghasilkan limbah minyak bekas dalam jumlah besar seperti oli kendaraan bekas dan minyak lumpur. Teknologi pendayagunaan limbah minyak dalam prosedur pembakaran sudah canggih dan dikenal sebagai pembakar ramah lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir, pembangunan infrastruktur mengalami kemajuan pesat di Indonesia, dan kebutuhan akan berbagai hal pun semakin meningkat. Banyak sekali proyek infrastruktur seperti pembangunan jalan, pembangunan gedung dan rumah, bahkan pemeliharaan dan renovasi infrastruktur.

Produksi di Asphalt Mixing Plant (AMP) masih mengontrol prosedur pencampuran secara manual, akibatnya banyak produksi campuran aspal panas yang meleset dari target dan rendahnya efisiensi. Revolusi Industri 4.0 yang sekarang sedang hangat diperbincangkan pelaku industri khususnya di lingkungan industri ialah solusi dengan mengotomatisasi seluruh prosedur dan tahapan produksi industri. Perusahaan berencana dalam berinvestasi besar-besaran dalam pelatihan karyawannya, karena mesin yang semakin modern akan dimanfaatkan sebagai dasar proyek desain. Hal ini terbukti sangat membantu dalam mengembangkan kreativitas dan ketangguhan praktis, keterampilan memecahkan masalah, dan mempelajari banyak studi kasus. Mengontrol pergerakan conveyor sabuk, tanker pengisian, dll.

Penggantian bahan bakar mesin mampu dilaksanakan sebagai upaya penghematan produksi tonase hotmix, bahan bakar yang mampu diimplementasikan sebagai supplant solar bahan bakar utama ialah MFO, HSD, LNG ataupun Batubara. Penelitian penggantian bahan bakar ini telah dilaksanakan oleh peneliti-peneliti terdahulu seperti yang dilaksanakan Fajar Sihombing, Karnoto, dan Bambang Winardi (2015), Nur Padillah, Subaer, Muris (2019), Yusvardi Yusuf, Santoso Budi (2017). Penggantian bahan bakar menjadi salah satu metode dalam melaksanakan efisiensi biaya dengan memperhatikan hasil produksi itu sendiri. Namun dalam melaksanakan penggantian bahan bakar perlu melaksanakan pengecekan terhadap hasil produksi itu sendiri. Metode ini menyandang kekurangan dimana bahan bakar yang dimanfaatkan akan mewariskan produk beraneka terantuk dari macam mesin yang diimplementasikan ataupun persentase pencampuran bahan bakar jika dilaksanakan dengan metode mencampur bahan bakar utama dengan bahan bakar lainnya. Dalam menjaga mutu dari hasil penggantian bahan bakar ini perlu dilaksanakan pengecekan mutu hasil produksi baik berwujud uji Karakteristik hotmix maupun uji Karakteristik marshal. Oleh karena itu, metode penggantian atau pencampuran bahan bakar utama perlu dibarengi dengan pengecekan mutu agar metode ini mampu menjadi efektivitas solusi.

Menurut Fajar, dkk (2015) biaya penghematan akan semakin meningkat jika semakin besar daya yang diwujudkan dengan memanfaatkan MFO dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. Pendayagunaan bahan bakar spesifik dan efektivitas saat menyediakan bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan saat memanfaatkan bahan bakar MFO namun daya efektif mesin saat memanfaatkan bahan bakar MFO lebih curam dibandingkan bahan bakar yang lain (Nur Padhillah, Subaer, Muris 2019). Penggunaan bahan bakar MFO lebih efisien 89,3% dibandingkan dengan bahan bakar B30 (Bio diesel+HSD) (Muhammad Renaldi Setiawan, I Wayan Joniarta 2022). Pada penelitian ini, akan memanfaatkan bahan bakar MFO sebagai bahan bakar utama dalam produktivitas Asphalt Mixing Plant, yang dimana harga MFO ini lebih ekonomis dibandingkan dengan solar.

Saat ini penggunaan MFO sebagai bahan bakar utama cukup marak di sektor industri utamanya salah satu Perusahaan BUMN yaitu PLN. Spesific Fuel Consumption ialah ratio total comparison konsumsi bahan bakar. Dengan menyediakan SFC sebuah industri mampu menyukat komparasi antara total biaya harian bahan bakar dan produktivitas yang diwujudkan (Muhammad Renaldi Setiawan, I Wayan Joniarta 2022) Sesuai uraian di atas, penelitian ini bertujuan dalam memanfaatkan bahan bakar lain sebagai bahan bakar utama dalam meningkatkan efisiensi produktivitas Asphalt Mixing Plant dengan tetap memperhatikan mutu hasil produksi Asphalt Mixing Plant dan penulis menuangkan dalam penelitian berjudul **“PENGARUH CAMPURAN ASPAL HOTMIX DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR BERCAMPUR MARINE FUEL OIL (MFO) PADA ASPHALT MIXING PLANT”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sifat fisik dan mekanik (mutu) dari campuran aspal hotmix yang diproduksi dengan menggunakan bahan bakar solar murni dibandingkan dengan menggunakan campuran bahan bakar solar bercampur MFO?
2. Apakah penggunaan bahan bakar solar bercampur MFO memberikan dampak signifikan terhadap biaya produksi campuran aspal Hotmix?
3. Apakah penggunaan bahan bakar solar bercampur MFO memberikan dampak signifikan terhadap waktu produksi campuran aspal Hotmix?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan mempertimbangkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh bahan bakar solar bercampur MFO pada mutu campuran aspal Hotmix.
2. Menganalisis efisiensi biaya produksi pada campuran aspal hotmix berbahan bakar solar bercampur MFO.
3. Menganalisis efisiensi waktu produksi pada campuran aspal hotmix berbahan bakar solar bercampur MFO.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diambil pada penelitian adalah dibutuhkan menaruh manfaat pada pengembangan ilmu pengetahuan & teknologi dalam bidang binamarga yang berkaitan dengan produksi hotmix & output sesuai penelitian ini dibutuhkan bisa dipakai menjadi salah satu acuan bagi para pembuat hotmix dalam kaitannya produksi hotmix.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dideskripsikan ialah penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Asphalt Mixing Plant dan Laboratorium PT. Bumi Karsa, Melaung, Kec. Gunung Tabur, Kab. Berau. Penelitian ini memanfaatkan perbandingan campuran bahan bakar komposisi 1 (100% solar : 0% MFO); komposisi 2 (30% solar : 70% MFO). *Marine Fuel Oil* (MFO) ialah prodak yang diproduksi oleh Pertamina. Hotmix yang diuji ialah campuran AC-WC Kadar Aspal Optimum 5,60% sesuai dengan kalkulasi Job Mix Design serta pengecekan terkait mutu Hotmix yang dimanfaatkan ialah Marshall Test.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan teks, diskusi hasil uji laboratorium terhadap **PENGARUH CAMPURAN ASPAL HOTMIX DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR BERCAMPUR MARINE FUEL OIL (MFO) PADA ASPHALT MIXING PLANT**, penulis memberikan gambaran mengenai garis besar dan menjelaskan secara ringkas tentang sistematika penulisan hasil studi diuraikan dalam komposisi bab-bab sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini, penulis akan menjelaskan uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini, penulis akan mengemukakan tentang Marine Fuel Oil (MFO), Perkerasan Jalan Lentur, Campuran Beton Aspal, Pengujian Marshall dan penelitian terdahulu.

Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini penulis akan menjelaskan rincian penelitian, tempat dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, bahan penelitian, alat penelitian, pelaksanaan penelitian dan bagan organisasi penelitian.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dalam bab ini penulis akan mengemukakan tentang hasil penelitian dan pembahasan mengenai tujuan penelitian dari penulis.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini penulis akan menguraikan tentang kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Marine Fuel Oil (MFO)

Marine Fuel Oil (MFO) ialah hasil destilasi minyak bumi, yang mana diperoleh setelah residu & sebelum aspal yakni minyak bakar yang bukan hasil destilasi yang berwarna hitam. Minyak jenis ini mempunyai taraf viskositas yang tinggi dibanding minyak diesel. Pengaplikasian minyak bakar ini biasanya buat pembakaran langsung dalam industry dan bahan bakar steam power station. Bahan bakar MFO juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin kapal. Berdasarkan segi ekonomi pengaplikasian minyak bakar ini dievaluasi lebih ekonomis. Bahan bakar Marine Fuel Oil (MFO) ialah Minyak Bakar bukan prodak hasil destilasi, akan tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini mempunyai taraf viskositas yang tinggi dibanding minyak diesel. Akibatnya pendayagunaan MFO menjadi bahan bakar bisa digunakan secara langsung, akan namun wajib melewati proses treatment yang bermaksud buat menyusutkan viskositas dan penyeragaman berukuran partikel bahan bakar (untuk menghindari sumbatan dalam nozzle).

2.2 Perkerasan Jalan Lentur

Perkerasan lentur ialah jenis perkerasan yang banyak diimplementasikan. Sukirman (1999) mengartikan struktur perkerasan lentur sebagai perkerasan yang mengimplementasikan aspal sebagai bahan pengikatnya. Susunan jalan fleksibel terdiri atas lapisan-lapisan yang ditempatkan di atas lapisan tanah bawah yang dikeraskan. Lapisan ini bertugas menyebarkan beban lalu lintas dan mengalokasikannya ke under lapisan. Lapisan-lapisan itu antara lain lapisan atas (top layer), lapisan pondasi atas (base layer), lapisan pondasi bawah (subgrade layer), dan lapisan tanah dasar (subgrade layer). Lapisan latar juga dikatakan dengan campuran aspal. Sesuai Ramil et al. (2017), paduan aspal ialah lapisan campuran agregat (agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi) dan aspal. Macamnya mampu dikomparatifkan tergantung pada bahan yang diimplementasikan dan persyaratan desain struktur aspal yang dirancang.

2.3 Campuran Beton Aspal

Campuran beton aspal (Asphalt Concrete/AC) merupakan salah satu jenis campuran beraspal panas yang memanfaatkan agregat dengan gradasi menerus. Komposisi campuran ini terdiri atas agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (filler), aspal keras, serta bahan tambah lainnya. Proses produksi meliputi pencampuran komponen-komponen tersebut pada suhu yang telah ditentukan, diikuti dengan penghamparan dan pemadatan pada rentang suhu yang dipersyaratkan. Guna menjamin kualitas campuran sebagai material perkerasan jalan, proporsi komposisi dan mutu setiap bahan penyusunnya wajib memenuhi kriteria kinerja yang meliputi aspek struktural, kemudahan pelaksanaan, ketahanan terhadap kerusakan, dan efisiensi biaya (Iskandar, 2017).

2.4 Jenis-Jenis Beton Aspal

Sukirman (2016), mengklasifikasikan aspal beton sesuai dengan suhu pencampuran material penyusun beton aspal, dan fungsinya. Sesuai suhu pencampuran dan pengkompresiannya, beton aspal mampu dilainkan atas:

- Beton aspal campuran panas (hotmix), adalah beton aspal yang bahan pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 1400C.
- Beton aspal campuran sedang (warm mix), adalah beton aspal yang bahan pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 600C.
- Beton aspal campuran dingin (cold mix), adalah beton aspal yang bahan pembentuknya dicampur pada suhu ruang sekitar 250C.

Sesuai fungsinya, beton aspal dikomparasikan atas:

- Lapisan aus (wearing course) adalah bagian teratas dari perkerasan jalan yang terbuat dari beton aspal. Lapisan ini bersentuhan langsung dengan ban kendaraan. Fungsi utamanya adalah sebagai lapisan kedap air dan tahan terhadap cuaca. Selain itu, lapisan ini juga harus memiliki tingkat kekasaran yang sesuai untuk mencegah terjadinya slip pada ban.
- Lapisan perantara atau yang lazim disebut binder course dalam konstruksi perkerasan jalan, merupakan lapisan beton aspal yang terletak di bawah lapisan aus (wearing course). Meskipun tidak mengalami paparan cuaca secara langsung, lapisan ini dituntut memiliki stabilitas yang memadai untuk menopang beban lalu lintas yang didistribusikan melalui roda kendaraan.
- lapisan dasar (base course) dalam konstruksi perkerasan jalan, beton aspal berfungsi untuk membentuk dan meratakan kembali lapisan beton aspal yang sudah lama, yang biasanya telah mengalami keausan dan seringkali tidak lagi memiliki bentuk crown yang ideal.

2.4.1 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Menurut (Sukirman , 2016), karakteristik yang mesti dimiliki oleh campuran aspal beton ialah:

- Stabilitas
Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Sifat ini dibentuk oleh faktor gesekan internal antar butir-butir agregat dan aspal dan kohesi atau gaya ikat aspal.
- Durabilitas
Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.
- Fleksibilitas
Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan fondasi atau tanah dasar (konsolidasi atau settlement), tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu

lintas, ataupun akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan menggunakan agregat bergradasi terbuka dan kadar aspal yang tinggi.

- Ketahanan kelelahan (fatigue resistance)
Ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan atau retak. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.
- Tahanan geser (skid resistance)
Kekesatan atau tahanan geser (skid resistance) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi.
- Kedap air
Kedap air (impermeabilitas) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.
- Kemudahan pekerjaan (workability)
Kemudahan pekerjaan (workability) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal mana yang akan dipilih.

2.4.2 Sifat Volumetrik Campuran Beton Aspal

Sukirman (2016), menjelaskan bahwa Proses pembentukan beton aspal melibatkan pencampuran agregat dan aspal, yang dapat ditambah dengan bahan aditif, di instalasi pencampur pada suhu yang terkontrol. Campuran yang homogen ini selanjutnya dihamparkan dan dipadatkan untuk menghasilkan beton aspal yang solid.

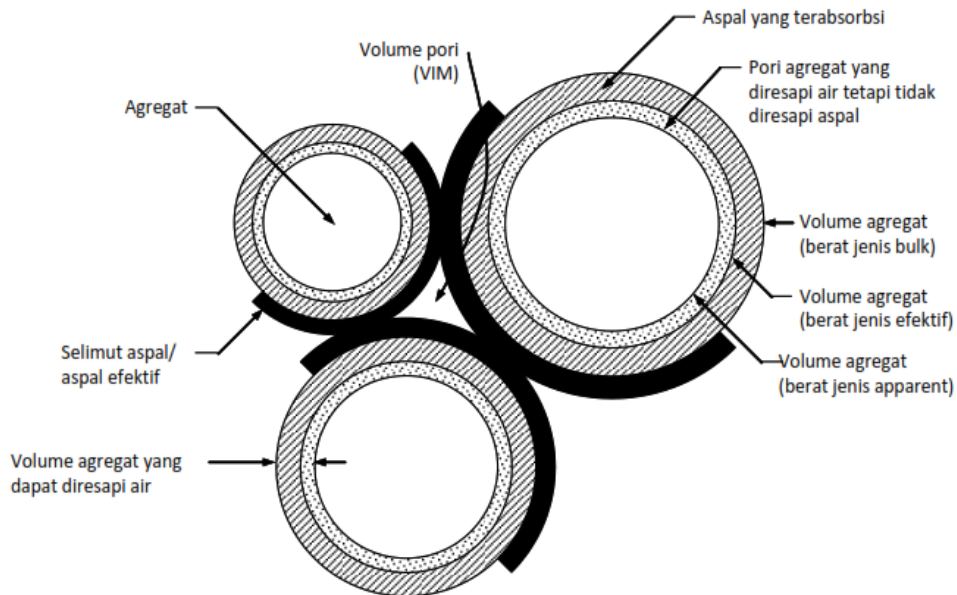
Karakteristik volumetrik dari campuran beton aspal padat, baik yang dipersiapkan melalui proses pemadatan di lingkungan laboratorium maupun yang dipadatkan secara in-situ (di lapangan), dapat ditentukan secara analitis. Parameter-parameter yang umumnya dimanfaatkan dalam analisis tersebut meliputi:

vmb = volume bulk beton aspal padat

VMA = volume rongga di volume rongga di antara butir agregat campuran, dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal, (Void in the Mineral Aggregate).

VIM = volume rongga beton aspal padat (Void In Mix)

VFA = volume rongga beton aspal padat yang terisi oleh aspal (Volume of voids Filled with Asphalt).



Gambar 1 VIM, selimut aspal, dan aspal yang telah terserap

Karakteristik beton aspal seringkali ditentukan menggunakan tebal film atau tebal selimut.

1. Berat jenis bulk beton aspal padat (Gmb)

Berat jenis bulk dari beton aspal padat (Gmb) diukur menggunakan hukum Archimedes, yaitu:

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (1)$$

Dengan:

Gmb	=	berat jenis bulk dari aspal padat
Bk	=	berat kering beton aspal padat, gram
Bssd	=	berat kering permukaan dari beton aspal padat, gram
Ba	=	berat beton aspal padat di dalam air, gram
Bssd - Ba	=	volume bulk beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan = 1

Nilai Penyerapan air dihitung menggunakan rumus (2). Persen penyerapan atau absorpsi air beton aspal padat=

$$PA = \frac{B_{ssd} - B_k}{B_{ssd} - B_a} \times 100 \quad (2)$$

2. Berat jenis maksimum beton aspal sebelum dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum teoritis dari campuran beton aspal dalam kondisi belum dipadatkan (dikenal sebagai Gmm) merepresentasikan nilai berat jenis campuran tersebut apabila seluruh rongga udara dihilangkan. Proses pengujian untuk menentukan nilai Gmm dilaksanakan di lingkungan laboratorium dengan mengikuti prosedur standar yang tertuang dalam metode AASHTO T209-90. (Sukirman, 2016)

$$G_{mm} = \frac{A}{A-C} \quad (3)$$

Dengan:

Gmm = Maximum Specific Gravity dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan

A = berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan pada kondisi kering (gram).

C = berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan,
di dalam air (gram)

Gmm dapat pula diperoleh melalui perhitungan dengan berdasarkan berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan sebanyak 100 gram. Gmm dapat diperoleh dengan rumus:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (4)$$

Dengan:

Gmm = Maximum Specific Gravity dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan

Pa = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

Ps = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat, %

Ga = Asphalt Specific Gravity

Gse = Effective specific gravity of the aggregate dari agregat pembentuk beton aspal padat

3. Volume rongga dalam agregat campuran (VMA)

Volume rongga di antara agregat (VMA atau Voids in the Mineral Aggregate) merupakan parameter volumetrik yang merepresentasikan proporsi ruang kosong yang terletak di antara butiran-butiran agregat dalam struktur beton aspal yang telah mengalami pemadatan. Nilai VMA dinyatakan dalam persentase terhadap volume bulk (volume total) dari beton aspal padat tersebut. (Sukirman, 2016)

VMA dapat dihitung melalui 2 cara yaitu:

- 1) Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat beton aspal padat.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \right) \% \quad (5)$$

dari volume bulk beton aspal padat, dengan:

VMA = Void in Mineral Aggregate, % dari volume bulk beton aspal padat

Gmb	=	bulk specific gravity of dense asphalt concrete
Ps	=	percentage of aggregate by weight in dense asphalt concrete
Gsb	=	the specific gravity of the aggregate used in dense asphalt concrete.

2) Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat agregat.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_1} \right) \% \quad (6)$$

Dengan:

VMA	=	volume rongga antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat
Gmb	=	berat jenis bulk dari beton aspal padat
Pa1	=	kadar aspal, % terhadap berat agregat
Gsb	=	berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

4. Volume rongga dalam beton aspal padat (VIM)

VIM (Voids in the Mix) adalah singkatan dari Volume Rongga dalam Beton Aspal Padat. VIM mengukur jumlah ruang kosong yang ada di antara partikel agregat yang sudah dilapisi aspal dalam beton aspal yang padat. Nilai VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume total beton aspal padat. (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \quad (7)$$

Dengan:

VIM	=	volume rongga dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat
Gmm	=	berat jenis maksimum Beton aspal yang belum dipadatkan
Gmb	=	berat jenis bulk dari beton aspal padat

5. Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal (VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan representasi dari proporsi ruang kosong dalam agregat (VMA) yang terisi oleh aspal. Definisi ini secara eksplisit mengecualikan aspal yang terserap ke dalam pori-pori internal masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang terkandung dalam VFA adalah aspal yang secara efektif berfungsi untuk menyelimuti permukaan butir-butir agregat di dalam struktur beton aspal yang telah dipadatkan, membentuk lapisan tipis atau film aspal yang dikenal sebagai selimut aspal. (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \quad (8)$$

Dengan:

VFA	=	volume rongga antara butir agregat yang terisi aspal
	=	% dari VMA

VMA	=	volume rongga antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat
VIM	=	volume rongga dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat

6. Kadar aspal

Jumlah aspal yang diserap pori agregat, dinyatakan sebagai persentase berat agregat, disebut P_{ab} . (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$P_{ab} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \cdot G_{sb}} G_a \text{ \% dari berat agregat} \quad (9)$$

Dengan:

P_{ab}	=	kadar aspal yang mengabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % dari berat agregat
G_{sb}	=	berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat
G_{se}	=	berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat
G_s	=	berat jenis aspal

Jumlah aspal yang secara efektif berfungsi untuk melapisi permukaan setiap butir agregat dalam campuran beton aspal diperoleh dengan mengurangi jumlah aspal yang terabsorpsi ke dalam pori-pori agregat dari total aspal yang ditambahkan ke dalam campuran. Kadar aspal yang berperan dalam penyelimutan ini disebut sebagai kadar aspal efektif (P_{ae}) dan dinyatakan sebagai persentase terhadap berat total campuran beton aspal yang telah dipadatkan. (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \text{ \% dari berat beton aspal} \quad (10)$$

Dengan:

P_{ae}	=	kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat total beton aspal padat
P_a	=	kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %
P_s	=	kadar agregat terhadap berat beton aspal pada, %
P_{ab}	=	kadar aspal yang mengabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % dari berat agregat

7. Tebal selimut aspal

Kuantitas aspal yang berperan dalam menyelimuti permukaan setiap partikel agregat diekspresikan melalui parameter yang disebut kadar aspal efektif. Terdapat korelasi positif antara kadar aspal efektif dengan ketebalan lapisan aspal yang terbentuk di sekeliling masing-masing butir agregat; dengan kata lain, peningkatan kadar aspal efektif berimplikasi pada peningkatan ketebalan selimut atau film aspal yang melapisi agregat. (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$Tebal\ selimut\ aspal = \frac{P_{ae}}{G_a} \cdot \frac{1}{LP \cdot P_s} \cdot 1000\mu \quad (11)$$

Dengan:

Pae	=	kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat total beton aspal padat
Gs	=	berat jenis aspal
Pa	=	kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %
LP	=	luas permukaan total dari agregat campuran di dalam beton aspal padat
	=	$\Sigma(\text{FLP} \times \% \text{"lolos saringan"}) \cdot 1000$

Nilai FLP untuk satu set ukuran saringan menurut TAI seperti pada Tabel 1

Tabel 1 Metode Pengecekan dan Spesifikasi Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Saringan		FLP
No	Bukaan, mm	m ² /kg
≥ No. 4	≥ 4,75	0,41
No. 8	2,36	0,82
No. 16	1,18	1,64
No. 30	0,6	2,87
No. 50	0,3	6,14
No. 100	0,15	12,29
No. 200	0,075	32,77

1. Berat jenis bulk agregat campuran

Perhitungan berat beton aspal padat membutuhkan informasi mengenai berat jenis agregat campuran, hal ini dikarenakan setiap fraksi agregat memiliki berat jenis yang berbeda. (Sukirman, 2016).

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad (12)$$

Dengan:

Gsb	=	berat jenis bulk agregat campuran
P1, P2, ...Pn	=	persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran
Gsb1, Gsb2, ...Gsbn	=	berat jenis bulk dari masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

2. Berat jenis efektif agregat campuran

Berat jenis efektif campuran dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis dari fraksi agregat yang dicampur seperti rumus 13.

$$G_{se} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{se1}} + \frac{P_2}{G_{se2}} + \frac{P_3}{G_{se3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sen}}} \quad (13)$$

Dengan:

Gse	= berat jenis efektif agregat campuran
P1, P2, ...Pn	= persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran
Gse1, Gse2, ...Gsen	= berat jenis efektif dari masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

2.5 Analisis Biaya Produksi AMP (Asphalt Mixing Plant)

Harga Satuan Dasar (HSD) ditentukan melalui analisis terhadap tiga komponen utama, yaitu tenaga kerja, bahan, dan alat. Setiap komponen dianalisis secara terpisah. Besaran koefisien yang digunakan untuk bahan, peralatan, dan tenaga kerja dapat berbeda di setiap lokasi proyek. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain data dan asumsi yang digunakan, metode kerja yang diterapkan, jenis bahan yang dipilih, dan berat isi (unit weight) bahan tersebut.. (KEMEN-PUPR, 2023).

2.5.1 Harga Satuan Dasar (HSD) Tenaga Kerja

Komponen biaya tenaga kerja yang diwujudkan dalam bentuk upah pada setiap mata pembayaran pekerjaan konstruksi sangat bergantung pada spesifikasi jenis pekerjaan yang bersangkutan. Penentuan Harga Satuan Dasar (HSD) Tenaga Kerja dapat didasarkan pada beberapa sumber informasi yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan, antara lain ketentuan Upah Minimum Provinsi (UMP) yang ditetapkan oleh pemerintah daerah setempat, data yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), data hasil survei pasar tenaga kerja, serta data-data relevan lainnya. Sistem pembayaran biaya tenaga kerja yang umum diterapkan adalah sistem orang-hari (OH) standar atau sistem orang-jam (OJ) standar. Besaran biaya tenaga kerja tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain tingkat keahlian tenaga kerja yang dibutuhkan, biaya mobilisasi tenaga kerja yang berasal dari luar daerah, jumlah tenaga kerja yang terlibat dalam proyek, tingkat kesulitan pekerjaan yang dilaksanakan, kondisi cuaca dan iklim di lokasi proyek, waktu pelaksanaan pekerjaan (apakah siang atau malam hari), ketersediaan peralatan kerja yang memadai, pengaruh lamanya masa kerja, serta pengaruh tingkat persaingan di pasar tenaga kerja konstruksi.. (KEMEN-PUPR, 2023)

Koefisien tenaga kerja merepresentasikan jumlah jam kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu satuan volume pekerjaan. Faktor ini menunjukkan durasi yang diperlukan tenaga kerja untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Jumlah dan tingkat keahlian tenaga kerja merupakan faktor-faktor yang memengaruhi koefisien ini. Produktivitas diukur per kelompok kerja (pekerja, tukang, kepala tukang, dan mandor) dan dinyatakan dalam satuan Orang-Jam (OJ) atau Orang-Hari (OH) per satuan volume pekerjaan. Pengukuran produktivitas didasarkan pada time and motion study, yaitu

pengamatan terhadap gerakan alat berat dan/atau pekerja serta output yang dihasilkan setiap menitnya. (KEMEN-PUPR, 2023)

Untuk mengestimasi HSD Tenaga Kerja, diasumsikan rata-rata jumlah hari kerja adalah 25 hari per bulan dan jam kerja efektif per hari adalah 7 jam. Upah per jam dihitung dengan memastikan hasilnya setara atau minimal sama dengan Upah Minimum Provinsi (UMP) sebagai berikut:

$$\text{Upah orang per jam (OJ)} = \frac{\text{Upah orang per bulan}}{25 \text{ hari} \times 7 \text{ jam kerja}} \quad (14)$$

2.5.2 Harga Satuan Dasar (HSD) Peralatan

Harga Satuan Dasar (HSD) peralatan, yang juga merepresentasikan harga sewa alat per jam, dihitung berdasarkan dua komponen biaya utama: biaya pasti (fixed cost) dan biaya operasi (operating cost). Biaya pasti mencakup nilai sisa alat, suku bunga bank, biaya pengembalian modal (khususnya jika pembelian alat dilakukan secara kredit), dan biaya asuransi. Sementara itu, biaya operasi dipengaruhi oleh harga perolehan alat, tenaga mesin, konsumsi bahan bakar dan pelumas, biaya suku cadang, dan biaya pemeliharaan. Referensi dari handbook yang diterbitkan oleh produsen alat berat ternama, seperti Trakindo (Caterpillar), Komatsu, dan merek lainnya, dapat digunakan untuk menyesuaikan biaya operasi. Analisis HSD peralatan membutuhkan data seperti upah operator, spesifikasi alat (tenaga mesin dalam Horse Power/HP, kapasitas kerja dalam m³), faktor efisiensi dan kondisi alat, umur ekonomis alat (sesuai spesifikasi pabrik), jam kerja per tahun, kondisi cuaca dan lokasi proyek, jenis material yang dikerjakan, serta komponen investasi alat (meliputi umur ekonomis, suku bunga bank, asuransi, faktor spesifik alat seperti faktor bucket untuk excavator, dan harga perolehan). (KEMEN-PUPR, 2023).

2.5.3 Harga Satuan Dasar (HSD) Bahan

Dalam penyusunan HSD Bahan untuk pengadaan barang/jasa pemerintah, Peraturan Presiden Nomor 12 Tahun 2021 mengamanatkan pertimbangan penggunaan produk dalam negeri yang bersertifikat SNI, memiliki Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) yang memadai, berlabel produk industri hijau, serta memanfaatkan katalog elektronik, sebagaimana diatur dalam Pasal 19 dan Pasal 66. (KEMEN-PUPR, 2023).

2.6 Uji Marshall

Uji Marshall dilaksanakan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) suatu campuran aspal dan agregat terhadap deformasi plastis yang dikenal sebagai flow. Secara definisi, stabilitas merepresentasikan kapasitas campuran beraspal dalam menerima beban eksternal hingga terjadinya deformasi plastis. Sementara itu, flow didefinisikan sebagai besarnya perubahan bentuk plastis yang dialami oleh campuran beraspal sebagai respons terhadap pembebanan hingga mencapai kondisi runtuh. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah Alat Marshall, yang merupakan perangkat uji tekan yang dilengkapi dengan proving ring dengan kapasitas 3000 kg. Proving ring tersebut terintegrasi dengan arloji pengukur yang berfungsi untuk mengukur nilai stabilitas campuran. Selain itu, terdapat pula instrumen pengukur flow (flow meter) yang didesain khusus untuk mengukur besarnya deformasi plastis.

2.7 Penelitian Terdahulu

Nur Padillah dkk (2019), menyampaikan bahwasanya parameter termodinamika keadaan mesin diesel dalam titik-titik primer daur kerja mesin diesel selama memakai bahan bakar jenis HSD juga MFO menerangkan bahwasanya setiap peningkatan 1 K & atau 1 kg/cm² tekanan dalam tiap satu titik primer daur akan diikuti dengan peningkatan dalam titik lainnya, kinerja mesin diesel selama memakai bahan bakar jenis HSD juga MFO menerangkan bahwasanya jenis bahan bakar yg dipakai berdampak pada besarnya Daya Indikator (Ni).

Menurut Muhamad Renaldi Setiawan, I Wayan Joniarta (2022) bahwasanya bahan bakar MFO lebih efisiensi 89,3 % dibandingkan dengan jenis bahan bakar B30 (Bio Diesel+HSDF). Untuk memproduksi 1 kWh memakai bahan bakar B30 (Bio Diesel+HSDF) memerlukan modal produksi sebanyak Rp 4144,29/kWh. Sedangkan buat 1 kWh MFO memerlukan modal produksi sebanyak Rp 2189,65/kWh.

Pada Penelitian Rio Permana, Marwan (2008) menunjukkan bahwasanya Pada tahap characterize (pendefenisian) dikenali bahwasanya deformity yang berlangsung pada prosedur produksi AMP diimplikasikan oleh tiga hal yaitu bahan, component (administrator) dan prosedur produksi. Setelah dilaksanakan rekapitulasi information, maka bahan yang menyandang jumlah deformity yang withering besar, dengan jumlah imperfection sebanyak 148 unit Pengkalkulasian mutu pada prosedur produksi Asfalt Mixing Plant (AMP) dilihat dari sigma. Sesuai hasil kalkulasi yang sudah pengamat laksanakan prosedur produksi AMP oleh PT. bangun karya sembilan Satu menyandang tingkat sigma 3.6 dengan tingkat kecacatan sebesar 600 unit dari sejuta produksi. Maka dari itu, mesti mengangkut tata cara dalam renovasi agar mampu meningkatkan mutu akibatnya bisa menjangkau tingkat sigma yang withering rendah yaitu 3.5 dari sejuta produksi.