

SKRIPSI
PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI
AGREGAT CAMPURAN ASPHALT CONCRETE -WEARING
COURSE (AC-WC)

oleh

DANIEL TINGKAS
NIM. DAB 116 121



JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

PALANGKA RAYA

2021

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI
AGREGAT CAMPURAN ASPHALT CONCRETE -WEARING
COURSE (AC-WC)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh

DANIEL TINGKAS
NIM. DAB 116 121

Disetujui untuk diajukan dalam Sidang Skripsi:

Pembimbing Utama,


Ir. SUPIYAN, M.T.
NIP. 196402201993021001

Pembimbing Pendamping,



INA ELVINA, S.T., M.T.
NIP. 197708162008122001

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,



Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

RINGKASAN

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC), Daniel Tingkas, DAB 116 121, Jurusan /Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya

Meningkatnya Jumlah pertumbuhan penduduk beriring dengan peningkatan pembangunan infrastruktur seperti gedung, jalan, jembatan dan berbagai fasilitas publik lainnya. Beton merupakan salah satu material bahan yang memiliki limbah dari pembangunan atau perbaikan infrastruktur yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan. Dengan memanfaatkan material dari limbah beton untuk membatasi penggunaan agregat alami sebagai pengganti agregat untuk perkerasan jalan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat alami pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* untuk perkerasan jalan raya terhadap nilai karakteristik Marshall.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara penggunaan agregat alami dan limbah beton sebagai pengganti untuk variasi kadar aspal yang telah ditentukan. Pada Pengujian Tahap 1 menggunakan agregat alami yaitu didapat variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan didapat Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,80%. Pengujian Tahap 2 dilakukan dengan menggunakan Limbah Beton sebagai pengganti agregat alami dengan Variasi kadar aspal dan persentase campuran yang sama. Metode pengujian menggunakan Uji Marshall.

Hasil penelitian didapat dari Analisis Karakteristik Marshall pada penggunaan bahan agregat alami dengan hasil rata-rata Stabilitas sebesar 1432,58 Kg, Flow 3,57 mm, VIM 4,52%, VFB 73,00%, VMA 16,90%. Dan hasil Analisis Karakteristik Marshall pada penggunaan Limbah Beton sebagai bahan pengganti dengan hasil rata-rata Stabilitas sebesar 2155,37 Kg, Flow 4,87mm, VIM 15,59%, VFB 42,39 %, VMA 27,07%. Hasil pengujian penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat tidak memenuhi persyaratan spesifikasi AC-WC yang telah ditetapkan.

Kata kunci: AC-WC, Limbah beton, Agregat, Aspal, Marshall.

SUMMARY

THE EFFECT OF USING WASTE CONCRETE AS A MIXTURE OF ASPHALT CONCRETE - WEARING COURSE (AC-WC), Daniel Tingkas, DAB 116 121, Civil Engineering Department/Study Program, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

The increasing number of population growth goes hand in hand with increasing infrastructure development such as buildings, roads, bridges and various other public facilities. Concrete is one of the materials that has waste from the construction or repair of infrastructure that can cause environmental damage. By utilizing material from waste concrete to limit the use of natural aggregate as a substitute for aggregate for road pavement. The purpose of this study was to determine the effect of concrete waste as a substitute for natural aggregate in the Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) mixture for road pavement on the value of Marshall characteristics.

This study was conducted to determine the comparison between the use of natural aggregates and concrete waste as a substitute for variations in asphalt content that have been determined. In Phase 1 testing using natural aggregates, the variation of asphalt content is 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, and the Optimum Asphalt Content (KAO) is 5.80%. Durability Test 2 is carried out using Waste Concrete as a substitute for natural aggregate with the same variation of asphalt content and percentage of mixture. The test method uses the Marshall Test.

The results obtained from the Marshall Characteristics Analysis on the use of natural aggregate materials with the results of the average stability of 1432.58 Kg, Flow 3.57 mm, VIM 4.52%, VFB 73.00%, VMA 16.90%. And the results of Marshall Characteristics Analysis on the use of Waste Concrete as a substitute material with an average stability of 2155.37Kg, Flow 4.87mm, VIM 15.59%, VFB 42.39%, VMA 27.07%. The results of testing the use of concrete waste as a substitute for aggregate do not meet the requirements of the AC-WC specifications that have been set.

Keywords: AC-WC, Waste concrete, Aggregate, Asphalt, Marshall

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, kanre atas segala Berkat, Karunia dan Anugrah-Nya sehingga penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan untuk kemudia diseminarkan dan ditinjau kembali untuk diperbaiki.

Skripsi dengan judul “**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI AGREGAT CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE* – *WEARING COURSE (AC-WC)***” disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada kesempatan ini, tidak lupa diucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu **Frieda, S.T., M.T.** selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak **Dr. Sutan Parasian Silitonga, STP., S.T., M.T.** selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
4. Bapak **Dr. Deddy Nan Setya Putra Tanggara, ST., MT.** selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak **Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T.** selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu **Ina Elvina, S.T., M.T.** selaku Ketua Penguji/Penguji 1 Skripsi.
7. Ibu **Murniati, S.T., M.T.** selaku Dosen Penguji 2 Skripsi.

8. Bapak **Ir. Desriantomy, M.T.** selaku Dosen Penguji 3 Skripsi.
9. Bapak **Dr. Sutan P. Silitonga, S.T.P., S.T., M.T.** selaku Dosen Penguji 4 Skripsi.
10. Ibu **Frieda, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing Akademik.
11. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
12. Teman-teman Mahasiswa Fakultas Teknik khususnya keluarga besar Teknik Sipil 2016 dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Skripsi ini, diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Terima Kasih

Palangka Raya, 2021

DANIEL TINGKAS
NIM. DAB 116 121

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan merupakan suatu struktur perkerasan yang berada diatas tanah, berfungsi untuk menampung beban lalu lintas yang melintasi diatasnya. Peranan perkerasan jalan sangat penting sehingga dibutuhkan perkerasan jalan yang memiliki kualitas baik agar lalu lintas menjadi lancar demi memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan.

Untuk membuat perkerasan jalan yang memiliki tingkat kualitas yang baik diperlukan juga material agregat yang banyak karena salah satu struktur utama dalam pembuatan campuran perkerasan merupakan agregat, disisi lain penggunaan agregat secara terus menerus dalam jumlah besar dapat berdampak pada masalah lingkungan. Sehingga diperlukan alternatif lain untuk material perkerasan jalan.

Pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, dan berbagai fasilitas lainnya memiliki limbah beton dari sisa-sisa reruntuhan bangunan akibat bongkaran bangunan, akibat kebakaran maupun limbah beton yang berasal dari kegagalan dalam pembuatan di pabrik beton pracetak yang dalam jumlah banyak akan menimbulkan masalah lingkungan. Sehingga pemanfaatan limbah beton merupakan salah satu alternatif untuk menjadi material agregat perkerasan jalan agar membatasi penggunaan agregat baru (*fresh aggregate*).

Penelitian ini dilakukan uji coba dengan pemanfaatan limbah beton yang akan digunakan sebagai agregat kasar atau halus tergantung dari hasil pemeriksaan

gradasi dengan komposisi sepenuhnya limbah sebagai agregat atau limbah dicampur dengan agregat alami pada pembuatan campuran AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*). Metode Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah beton pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) untuk perkerasan jalan terhadap nilai karakteristik *marshall*

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah limbah beton dapat memenuhi persyaratan spesifikasi sebagai campuran agregat pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)?
2. Bagaimana pengaruh limbah beton sebagai agregat pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)?
3. Berapakah nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) limbah beton sebagai agregat pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ini dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis spesifikasi limbah beton dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan pengganti agregat.
2. Menganalisis pengaruh limbah beton sebagai agregat pengganti pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) terhadap karakteristik *marshall*

3. Menganalisis nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) limbah beton sebagai agregat pengganti pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, adapun lingkup penelitian ini terbatas pada:

1. Pemeriksaan sifat-sifat agregat berdasarkan metode dan standart Bina Marga.
2. Campuran aspal yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:
 - a) Aspal Keras Penetrasi 60/70
 - b) Agregat kasar dan agregat halus
3. Perubahan kimia yang terjadi pada pencampuran aspal tidak ditinjau
4. Jenis limbah beton tidak ditinjau.

1.5 Manfaat Penelitian

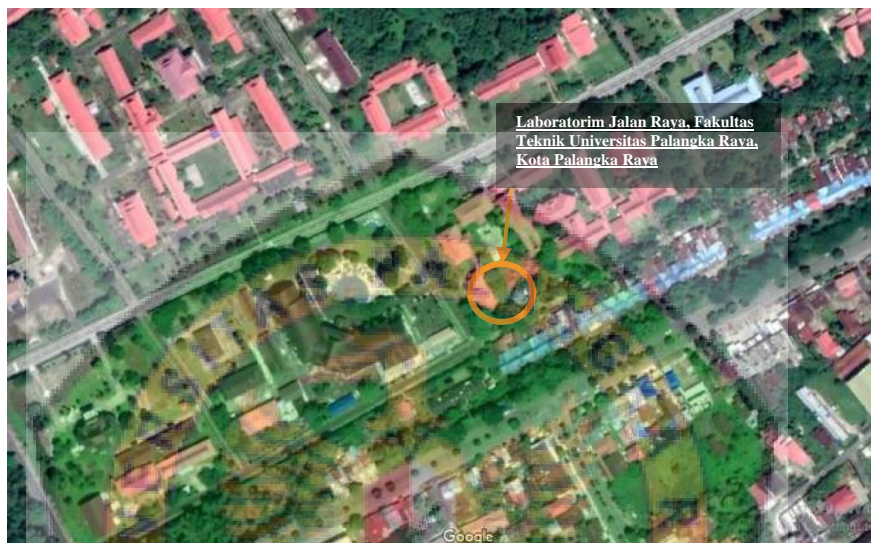
Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

Dapat menjadi referensi ataupun acuan dalam penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan limbah beton.

1. Bagi penulis, sebagai aplikasi atau penerapan langsung terhadap bidang keahlian yang menjadi topik tugas akhir.
2. Bagi praktisi, sebagai metode alternatif pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan guna meningkatkan kualitas jalan menggunakan bahan campuran limbah beton dalam upaya pelestarian lingkungan.

1.6 Lokasi Penelitian

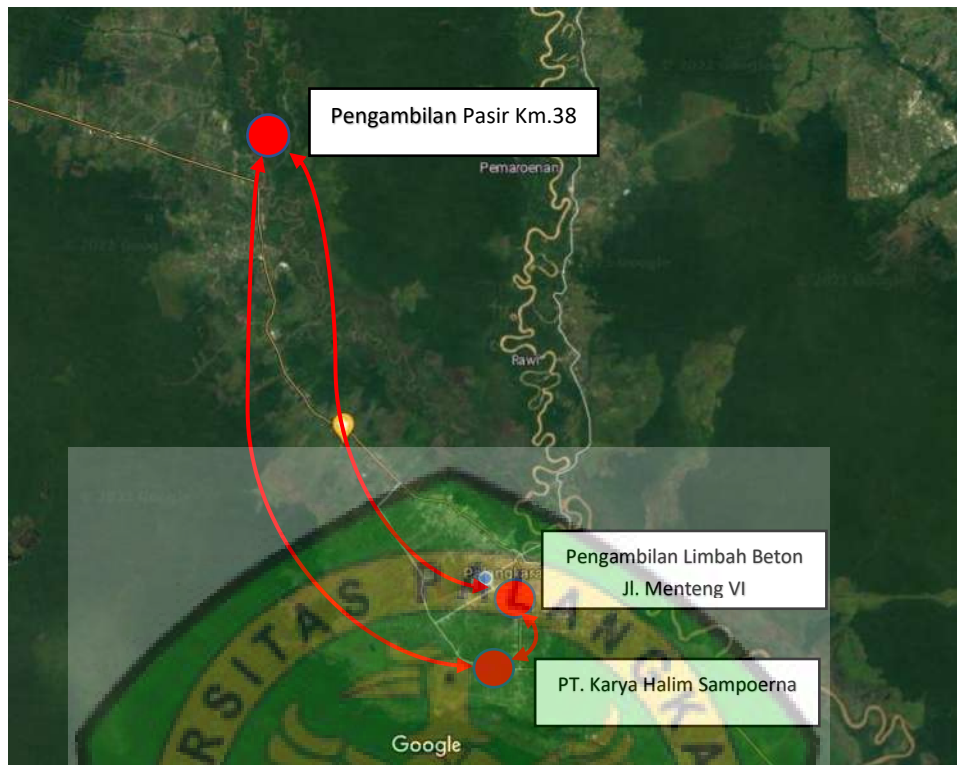
Lokasi penelitian dan pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian
Sumber: Google Maps

1.7 Lokasi Pengambilan Material

Pengambilan material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Palu pada Stockfile yang berada di Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Karya Halim Sampoerna Jalan Lingkar Luar KM. 4,6 No.88 Palangka Raya untuk pengambilan material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di KM.38 Jalan Tjilik Riwut dan pengambilan limbah beton berasal dari pembongkaran bangunan yang berada pada wilayah Kota Palangka Raya Jl. Menteng VI.



Gambar 1.2 Lokasi Pengambilan Bahan

Sumber: Google Earth

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Tanah saja biasanya tidak cukup kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapis paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini dapat dibuat dari bahan khusus yang terpilih (yang lebih baik), yang selanjutnya disebut lapis keras/perkerasan/pavement. (Suprpto,2004).

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis (Sukirman,2003). Perkerasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*).

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah lapis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan ikat antar material. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan meneruskan serta menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perkerasan lentur (*flexibel pavement*) merupakan perkerasan yang terdiri atas beberapa lapis perkerasan. OSusunan lapisan perkerasan lentur secara ideal antara lain lapis tanah dasar (*subgrade*),

sembilan lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan permukaan (*surface course*).

2. Kontruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*).

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah lapis perkerasan yang menggunakan semen (portland cement) sebagai bahan ikat antar materialnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas dilimpahkan ke pelat beton, bagian dari perkerasan kaku terdiri dari tanah dasar (*sub grade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), lapisan beton (*blinding concrete*/beton lantai kerja), lapisan plat beton (*concrete slab*), dan lapisan aspal agregat/aspal pasir yang bisa ada bisa tidak ada (Sukirman,2003).

3. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*).

Adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku. atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) diatasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya.

Tabel 2.1 Perbedaan Antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

No	Perbedaan	Perkerasaan lentur	Perkerasaan kaku
1	Bahan Pengikat	Aspal	Semen
2	Repetesi Beban	Timbul <i>Rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Bersifat sebagai balok di atas perletakan
3	Penurunan Tanah Dasar	Jalan bergelombang (Mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok di atas perletakan
4	Perubahan Tempertur	Modulus kekakuan berubah dan timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah dan timbul tegangan dalam yang besar

Sumber: Sukirman 2003

1.2 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Menurut Sukirman (2003), konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Bahan yang umum digunakan dalam perkerasan lentur adalah agregat dan aspal yang berfungsi untuk menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan bawahnya. Lapis permukaan adalah bagian yang terletak paling atas, adapun fungsi dari lapis permukaan sebagai berikut:

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, lapisan yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap kelapisan bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipukul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek.

Menurut Sukirman (2003), guna dapat memenuhi fungsi tersebut pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas tinggi dan tahan lama. Jenis lapisan permukaan yang sering digunakan di Indonesia pada umumnya terdiri dari:

1. Lapisan bersifat *nonstructural*, berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air, antara lain:
 - a. Laburan aspal satu lapis (burtu), merupakan lapisan penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam, dengan tebal maksimum 2 cm
 - b. Laburan aspal dua lapis (burda), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan dengan tebal padat maksimum 3,5 cm.
 - c. Lapis tipis aspal pasir (latasir), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal 1-2 cm.
 - d. Laburan aspal (buras), merupakan lapis penutup terdiri dari lapisan aspal taburan pasir dengan ukuran butiran maksimum 3/8 inch.
 - e. Lapisan tipis asbuton murni (latasbum), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal padat maksimum 1 cm.

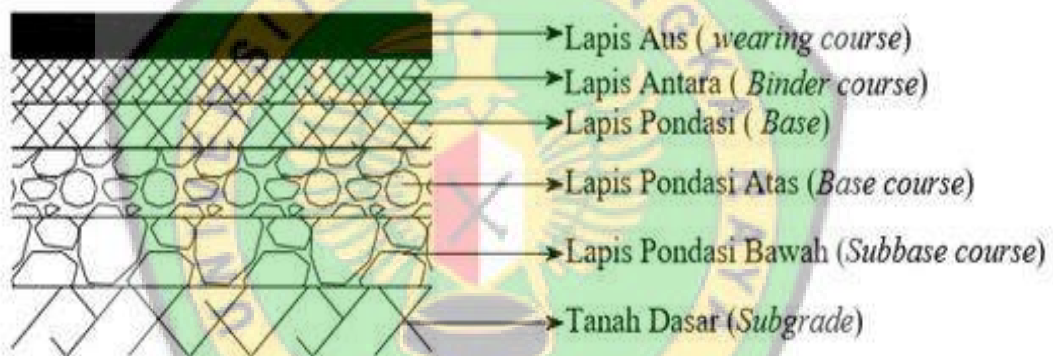
- f. Lapis tipis aspal beton (laston), dikenal dengan nama HRS (*hot roll sheet*), merupakan lapi penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Tebal pada antara 2,5-3 cm.
2. Lapisan bersifat *structural*, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda, antara lain:
 - a. Peneterasi Macadam (lapen), merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Di atas lapen ini biasanya diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal lapisan satu lapis dapat bervariasi dari 4-10 cm.
 - b. Lapis asbuton campuran dingin (lasbutag), merupakan campuran yang terdiri dari agregat aksar, agregat halus, asbuton, bahan pelunak dan mineral pengisi yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal padat tiap lapisannya antara 3-5 cm.
 - c. Lapis aspal beton (laston), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, mineral pengisi dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

1.3 Aspalh Concrete – Wearing Course (AC-WC)

Lapis aspal beton (laston), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. (Sukirman, 2003).

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, lapisan aspal beton (laston) yang selanjutnya disebut AC terdiri dari 3 jenis yaitu:

- AC Lapis Aus (AC-WC)
- AC Lapis Antara (AC-BC)
- AC Lapis Fondasi (AC-Base)



Gambar 2.1. Struktur Perkerasan Lentur

Berfungsi secara struktural sebagai lapisan untuk menahan dan menyebarkan beban roda, laston (AC-WC) memiliki sifat kedap air, awet, mempunyai kadar aspal 4-7% terhadap berat campuran, dan dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang sampai berat. Berikut sifat-sifat campuran laston (AC-WC):

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Lapis Aus

Sifat-sifat Campuran		Laston
		Lapis Aus
Jumlah tumbukan perbidang		75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6
	Maks.	1,6
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0
	Maks.	5,0
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800
Pelelehan (mm)	Min.	2
	Maks.	4
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2

Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

1.4 Limbah Beton

Limbah beton merupakan bahan sisa konstruksi yang tidak digunakan lagi berasal dari pembokaran bangunan, reruntuhan bangunan akibat bencana alam, maupun limbah beton yang berasal dari hasil pengujian laboratorium dan sisa dari pembuatan dari perusahaan beton.

Menurut Mulyati dan Arman A (2014), limbah beton merupakan material yang dibentuk Sebagian besar berasal dari material-material alam. Oleh karena itu dengan hanya membuang limbah beton begitu saja, berarti pemborosan penggunaan material alam yang sulit diperbaharui secara percuma. Proses daur ulang menjadi suatu cara yang baik untuk memproses limbah-limbah beton tersebut, yaitu dengan cara menghancurkan menjadi agregat kasar dan agregat halus sehingga menghasilkan ukuran gradasi yang di inginkan.

1.5 Agregat

Agregat/batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (solid). ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasaan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume.

Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasaan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Sukirman, 2003)

Agregat terdiri dari agregat alam, agregat buatan. Agregat alam diperoleh secara alamiah di alam ini, dengan sedikit pengeolahan, seperti pasir dan kerikil. Agregat alam dapat ditemukan di alam terbuka diistilahkan sebagai *pitrum*, dan diambil dari sungai disebut *bankrun*. Agregat buatan adalah agregat yang memerlukan proses pemecahan batu dengan alat pemecah batu (*stone crusher*), untuk dijadikan material yang memenuhi syarat sebagai bahan perkerasaan jalan.

Residu dari hasil pemecahan berupa abu batu yang dapat digunakan sebagai bahan *filler* (material pengisi) campuran dari bahan-bahan agregat dan aspal tersebut. Sumber lain bahan *filler* berasal dari produksi semen dan kapur, berupa abu semen dan abu kapur. Masing-masing harus dicermati sifat absorpsi (penyerapan) aspal.

Berdasarkan klasifikasi dimensi butiran dibedakan menjadi agregat butiran kasar dan agregat butiran halus. adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium Sulfat		Maks 18%
Abrasi dengan mesin Los Angles	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks 6%
		500 putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287:2016 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks 1%

Sumber: Bina Marga 2018 Revisi 2

2. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75

mm). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikendaki lainnya. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Table 2.4

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah Dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117-2012	Maks 10%

Sumber: Bina Marga 2018 revisi 2

1.6 Bahan Pengisi (Filler)

Bahan pengisi (filler) merupakan suatu bahan berbutir halus yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan pengisi yang ditambahkan (filler added) dapat berupa debu batu kapur (limestone dust), debu kapur padam, debu kapur magnesium, atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89(2014), Semen, dan abu terbang.

Filler berfungsi untuk mengisi rongga antar agregat halus dan agregat kasar yang dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan, aspal dan filler dapat membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.

Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan aspal, Selain bahan pengisi (*filler*) dapat juga mengurai volume pori-pori atau rongga sehingga

dapat meningkatkan kepadatan dan dapat menurunkan permeabilitas campuran aspal.

1.7 Gradasi Agregat

Gradasi agregat ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan. Batasan untuk gradasi campuran agregat Laston AC-WC ditunjukkan pada table berikut:

Tabel 2.5 Amplop Gradasi Agregat untuk AC-WC

Ukuran Ayakan		Berat yang lolos terhadap total agregat (%)
ASTM	Mm	Laston (AC-WC)
1 ¹ / ₄ "	37,5	-
1"	25	-
3/ ₄ "	19	100
1/ ₂ "	12,5	90-100
3/ ₈ "	9,5	77-90
No.4	4,75	53-69
No.8	2,36	33-53
No.16	1,18	21-40
No.30	0,600	14-30
No.50	0,300	9-22
No.100	0,150	6-15
No.200	0,075	4-9

Sumber: Bina marga 2018 revisi 2

1.8 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat,

karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesive, kedai air dan mudah dikerjakan. Aspal merupakan bahan yang plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat. Lebih jauh lagi, aspal sangat tahan terhadap asam, alkali dan garam-garaman. Pada suhu atmosfer, aspal akan berupa benda padat atau semi padat, tetapi aspal akan mudah dicairkan jika dipanaskan, atau dilakukan pencampuran dengan pengencer petroleum dalam berbagai kekentalan atau dengan membuat emulsi bahan alam yang terkandung dalam hampir semua minyak bumi yang diperoleh sebagai hasil penyulingan.

Definisi aspal adalah campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral, sedangkan yang dimaksud dengan bitumen adalah bahan yang berwarna coklat hingga hitam, berbentuk keras hingga cair, mempunyai sifat lekat yang baik, larut dalam CS_2 dan CCl_4 dan mempunyai sifat berlemak dan tidak larut dalam air.

Secara kimiawi bitumen terdiri dari gugusan aromatik, naphthen dan alkan sebagai bagian-bagian terpenting dan secara kimia fisika merupakan campuran yang padat (*asphaltene*) berada dalam fase cairan yang disebut malteng. Hendarsin, Shirley L. (2000)

Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viscositasnya yang diwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan. Sedangkan sifat aspal lainnya adalah:

1. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologis*), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka

aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis.

2. Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.
3. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.
4. Sifat *Adhesi* dan *Kohesi*, *Adhesi* adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat dalam campuran. Sedangkan, *Kohesi* adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan ikatan antar agregat tetap pada tempatnya (stabil)

Aspal umum yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 60-70 dan berikut adalah ketentuan untuk aspal keras:

Tabel 2.6 Ketentuan Untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^* \sin \delta$) pada	SNI 06-6442-2000	-	70	76

Tabel 2.6 Ketentuan Untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
	osilasi 10 rad/detik \geq 1,0 kPa, ($^{\circ}$ C)				
3	Viskositas Kinematis 135 $^{\circ}$ C (<i>cSt</i>) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	\geq 300	\leq 3000	
4	Titik Lembek ($^{\circ}$ C)	SNI 2434:2011	\geq 48	Dilaporkan	
5	Daktilitas pada 25 $^{\circ}$ C, (cm)	SNI 2432:2011	\geq 100	-	
6	Titik Nyala ($^{\circ}$ C)	SNI 2433:2011	\geq 232	\geq 230	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	\geq 99	\geq 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	\geq 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek ($^{\circ}$ C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	\leq 2,2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	\leq 2		
Hasil Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	\leq 0,8	\leq 0,8	
12	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis Dinamis ($G \cdot \sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik \geq 2,2 kPa, ($^{\circ}$ C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25 $^{\circ}$ C (% semula)	SNI 2456:2011	\geq 54	\geq 54	\geq 54
14	Daktilitas pada 25 $^{\circ}$ C (<i>cm</i>)	SNI 2432:2011	\geq 50	\geq 50	\geq 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 1000$^{\circ}$C dan tekanan 2,1 Mpa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G \cdot \sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik \leq 5000 kPa, ($^{\circ}$ C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2

1.9 Karakteristik Campuran Aspal

Campuran beraspal dapat terdiri dari agregat, bahan pengisi, bahan adiktif dan aspal. Karakteristik campuran diperoleh melalui analisis hasil rancangan dan percobaan dilaboratorium dan juga dilapangan yang dilakukan selama pencampuran material dan pemadatan. Material aspal dipergunakan untuk semua jenis jalan raya dan merupakan salah satu bagian dari lapisan aspal jalan raya kelas satu hingga dibawahnya.

Bilamana agregat dicampurkan dengan aspal, akan ada beberapa kondisi umum yang terjadi, yaitu permukaan agregat akan diselimuti aspal, diikuti dengan pori-pori agregat. Demikian pula dengan rongga diantara butiran agregat akan terisi aspal. Namun baik pori-pori agregat, maupun rongga diantara agregat, tidak selalu terisi penuh oleh aspal, ada bagian tersisa yang pasti terisi oleh udara. Makin banyak kadar aspal, makin banyak ruang dan pori yang terisi oleh aspal. Selama partikel tidak diselimuti bahan yang tidak diinginkan misalnya lempung, atau rongga cukup bersih, atau absorbs masih dalam batas toleransi, jumlah nominal kadar aspal yang digunakan juga akan terjaga dengan baik. Shirley (2000)

Menurut Silvia Sukirman 2003, terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal. Berikut adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut:

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang,

alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja.

Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butiran, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan:

- a. Agregat dan gradasi yang rapat (*dense graded*)
- b. Agregat dengan permukaan yang kasar
- c. Agregat yang berbentuk kubus
- d. Aspal dengan penetrasi rendah
- e. Aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir

Agregat dengan gradasi baik, atau bergradasi rapat akan memberikan rongga antar butiran agregat *Void in Mineral Aggregate* (VMA) yang kecil untuk menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat, *Void in Mineral Aggregate* (VMA) yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan selimut aspal yang tipis. Selimut aspal yang tipis akan mudah terlepas yang mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik karena

VMA kecil dan juga menghasilkan rongga antar campuran (*Void in Mix = VIM*) yang kecil.

2. Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal (*film*), banyaknya pori-pori dalam campuran, kepadatan dan kedapnya air dalam campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat dengan baik, aspal beton akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

- a. (*Void In Mineral = VIM*) kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (*getas*).
- b. (*Void In Mineral Aggregate = VMA*) besar sehingga selimut aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
- c. Selimut aspal (*Film*), aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

3. Kelenturan (*Fleksibility*)

Kelenturan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan;

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar
 - b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
 - c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan lapis aspal beton dalam menerima beban berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) atau retak. Hal ini dapat terpenuhi jika campuran aspal yang digunakan memiliki kadar aspal tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

- a. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
 - b. VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.
5. Kekesatan terhadap slip (*Skid Resistance*)

Kekesatan terhadap slip adalah kemampuan lapis permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya pada roda kendaraan sehingga

kendaraan tidak tergelincir atau slip. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butiran, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal selimut aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan perkerasan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja hanya mempunyai permukaan kasar, tetapi juga harus mempunyai daya tahan tidak mudah menjadi licin pada permukaan akibat repitisi kendaraan. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh:

- a. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
 - b. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding
 - c. Penggunaan agregat berbentuk kubus
 - d. Penggunaan agregat kasar yang cukup
6. Kedap Air (*Impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dilewati air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaian aspal, dan pengelupasan selimut aspal (*film*) dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan air dalam campuran, tingkat impermeabilitas aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan Pelaksanaan adalah kemampuan campuran aspal beton untuk memudahkan penghamparan dan pemadatan, sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh:

- a. Gradasi agregat yang baik akan lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain
- b. Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit. Ketujuh sifat campuran aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Dalam perancangan tebal perkerasan harus diperhatikan sifat-sifat aspal beton yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada, memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi (Leily, 2012).

1.10 Metode Perencanaan Campuran

Metode perencanaan campuran tentunya diperlukan untuk memenuhi spesifikasi. Sehingga didapatkan hasil campuran yang diharapkan memenuhi kriteria yang baik dan agregat yang tersedia.

Metode perencanaan campuran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Metode Standar Bina Marga. Metode ini dipakai untuk menghitung

perkerasan aspal yang digelar di atas *subgrade* yang telah dipadatkan (sistem dua lapisan).

Rencana ketebalan didasarkan kepada pembahasan berikut:

1. Perpanjangan *relative horizontal* pada lapisan di bawah aspal, untuk mengurangi retak akibat kelelahan pada *asphalt concrete*
2. Tegangan tekanan vertikal pada permukaan lapisan *subgrade*, untuk mengurangi gaya-gaya yang mengakibatkan *rutting* pada permukaan.

Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang harus memenuhi lengkung *fuller*. Gradasi gabungan yang dipergunakan pada metode ini adalah agregat bergradasi baik atau menerus.

Dari data analisis butiran masing-masing jenis material, selanjutnya dapat direncanakan bagaimana komposisi perbandingan campuran gabungan yang memenuhi persyaratan gradasi.

Banyak cara untuk merencanakan komposisi perbandingan campuran antara lain:

1. Cara Coba-coba (*Trial and Error*)

Prinsip dan cara coba-coba (*Trial and Error*) adalah sebagai berikut:

- a. Memahami batas gradasi yang disyaratkan
- b. Memasukan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi unit.
- c. Memasukan persentase lolos saringan pada masing-masing jenis agregat kedalam persentase lolos.

- d. Memasukan spesifikasi ideal pada kolom target *value*, yaitu nilai salah satu dari spesifikasi ideal yang disyaratkan.
- e. Mengambil salah satu spesifikasi ideal dengan jenis yang ada, dalam hal ini agregat kasar, sedang dan halus kemudian dicampur ketiganya dengan jumlah 100% dan nilai gabungannya mendekati nilai spesifikasi ideal yang kita ambil.
- f. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dan ketiga agregat yang lain dihitung atau digabung dengan persentase yang sama. Sehingga dapat dipergunakan sebagai gradasi untuk campuran aspal panas.

2. Cara Diagonal

Prinsi dan Langkah cara diagonal adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis gradasi ideal yang akan digunakan dan persyaratan gradasi yang ditentukan.
- b. Menggambar empat persegi Panjang dengan ukuran (10 x 20) cm pada milimeter blok.
- c. Membuat garis diagonal dari ujung kiri bawah ke ujung kanan atas.
- d. Sisi vertical menyatakan persentase lolos saringan dengan skala 0 dibawah dan 100 diatas.
- e. Dengan melihat spesifikasi ideal, tiap-tiap nilai ideal tersebut diletakan pada garis diagonal berupa titik.
- f. Dan tiap titik pada diagonal ditarik garis vertical untuk menempatkan nomor-nomor saringan.

- g. Digambar grafik gradasi dan masing-masing fraksi yang akan dicampur.
- h. Untuk menentukan persentase agregat kasar, dilihat dari jarak antara grafik gradasi kasar terhadap tepi bawah dan jarak grafik sedang terhadap tepi atas yang harus sama dengan suatu garis lurus.
- i. Pada garis tersebut ditarik garis vertikal yang memotong garis diagonal. Kemudian dari titik potong ini ditarik garis horizontal yang memotong garis tepi, sehingga didapat persentase agregat kasar yang diperlukan.
- j. Langkah (h) dan (i) diulangi untuk mendapatkan persentase agregat halus dan bahan pengisi *filler*.

Setelah diperoleh komposisi dan setiap jenis fraksi agregat dibuat suatu table hasil analisa gabungan agregat, dimana persentase masing-masing fraksi yang akan digunakan diperoleh dari hasil perkalian dengan persentase lolos untuk masing-masing nomor saringannya. Kemudian dijumlahkan untuk masing-masing nomor saringan lalu dilihat apakah gradasi tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan sesuai jenis campuran yang akan dibuat. Hasil penggabungan agregat diusahakan mendekati *ideal specification*. Jika melalui grafik diagonal tepat, maka digunakan cara coba-coba (*Trial and Error*), yaitu menentukan terlebih dahulu persentase dari masing-masing agregat (tanpa mengubah persen lolos). Kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian persentase dengan persen lolos dari agregat. Selanjutnya hasil perkalian tersebut masing-masing dijumlahkan dan dilihat apakah hasilnya mendekati nilai *ideal specification*. Selanjutnya dibuat

grafik penggabungan agregat dan grafik spesifikasinya, setelah itu dihitung berat masing-masing fraksi yaitu persentase fraksi dikali dengan kapasitas *mould*.

Berat masing-masing fraksi campuran ini, dibagi-bagi lagi berdasarkan ukuran saringan sesuai dengan persentase tertahan agregatnya yang akan digunakan untuk pembuatan briket benda uji.

3. Cara Grafis

Prinsip dan cara grafis adalah sebagai berikut:

- a. Membuat kotak dengan ukuran bujur sangkar (10 x 10 cm) sebanyak dua buah pada kertas milimeter blok.
- b. Untuk sisi kiri merupakan persentase agregat kasar.
- c. Plot pada garis tepi titik-titik dari masing-masing nomot saringan untuk agregat sedang.
- d. Gabungan masing-masing titik/nomor saringan yang sama.
- e. Pada garis-garis penghubung tersebut ditentukan batas spesifikasi.
- f. Tentukan batas maksimum dan minimum yang paling dekat terhadap garis agregat kasar dan agregat sedang yang paling dekat
- g. Dari batas maksimum dan minimum tersebut ditarik garis vertical.
- h. Tarik garis yang membagi dua daerah maksimum dan minimum sehingga dari garis ini dapat ditentukan persentase agregat kasar dan halus.
- i. Pada bujur sangkar yang kedua, Tarik garis mendatar untuk memindahkan nomor-nomor saringan.

- j. Pada garis sisi kanan sebagai agregat halus, tentukan titik-titik pada garis tersebut sesuai ukuran saringan.
- k. Hubungan kedua titik pada garis agregat kasar dan agregat sedang serta agregat halus.
- l. Tentukan spesifikasi yang berlaku.
- m. Cari harga maksimum dan minimum yang mempunyai jarak terdekat.
- n. Tarik garis vertikal dan masing-masing titik maksimum dan minimum tersebut.
- o. Tarik garis pembagi dua, sehingga dapat ditentukan persentase agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus.

Setelah didapat perbandingan komposisi dan masing-masing agregat maka selanjutnya akan dibuat beberapa contoh campuran dengan variasi kadar aspal. Bruce Marshall mengembangkan suatu metode untuk pembuatan dan pengujian benda ujim metode inilah yang akhir dikenal dengan istilah “Metode Marshall”.

Pemeriksaan terhadap benda uji (briket) dilakukan dengan alat Marshall, untuk menentukan ketahanan/stabilitas terhadap kelelahan plastis (*flow*) dan campuran aspal agregat. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) yang berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 pound. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukuran stabilitas campuran dan terhadap pula arloji lelehan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

1.11 Perencanaan Campuran Pembentukan Laston Lapis Aus (AC-WC)

Untuk memenuhi spesifikasi perencanaan campuran ini diperlukan untuk mendapatkan komposisi campuran yang tepat, sehingga menghasilkan campuran yang memenuhi kinerja yang baik dari agregat yang tersedia. Bahan utama campuran beton aspal adalah agregat, aspal, dan bahan pengisi (*filler*). Untuk mendapatkan hasil yang baik dan berkualitas dalam menghasilkan perkerasan jalan, maka bahan-bahan tersebut harus memiliki kualitas yang baik pula.

1. Pengujian Material

Sebelum merencanakan campuran aspal, terlebih dahulu harus dilaksanakan pengujian material agregat kasar, agregat halus, aspal dan filler. Sifat-sifat material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2. Penentuan Gradasi Agregat

Gradasi masing-masing jenis agregat (kasar, halus, dan filler) harus ditentukan dalam spesifikasi suatu jenis campuran aspal panas. Demikian pula gradasi agregat gabungannya

Gradasi agregat gabungan bisa diperoleh dengan mencampurkan (*blending*) agregat kasar, halus, dan mineral pengisi (*filler*). Teknik campuran (*blending*) agregat dapat dilaksanakan secara analitis maupun secara grafis.

Perencanaan gradasi agregat untuk campuran aspal di laboratorium, bisa dilaksanakan tanpa *blending* agregat, yaitu berdasarkan gradasi ideal (batas tengah) spesifikasi gradasi agregat gabungan yang ditentukan. Masing-masing ukuran butir agregat diperoleh dengan mengayak agregat sesuai ukuran ayakan yang ditentukan.

Kemudian proporsi agregat dicari berdasarkan kumulatif persentase lolos gradasi agregat ideal.

3. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan:

P_b : Perkiraan kadar aspal optimum

CA : Nilai persentase agregat kasar

FA : Nilai persentase agregat halus

FF : Nilai persentase *filler*

K : konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

Hasil perhitungan P_b dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat. parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut:

a. Berat Jenis *Bulk* dan *Apparent* Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada

pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$G_{sbtot} \text{ Agregat} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan:

G_{sb} : Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

$G_{sbt1}, G_{sb2} \dots G_{sb}$: Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

$P_1, P_2, P_3, \dots n$: Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

b. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan:

G_{se} : Berat jenis efektif/*efektive spesific gravity* (gr/cc)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

P_{mm} : Persen berat total campuran (=100)

P_b : Persentase kadar aspal terhadap total campuran (%)

P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

G_b : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$G_{se} = (G_{sb} + g_{sa})/2 \dots\dots\dots(2-4)$$

Keterangan:

G_{se} : Berat jenis efektif / *efektive spesific gravity* (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis kering agregat/*bulk spesific gravity* (gr/cc)

G_{sa} : Berat jenis semu agregat/*apparent spesific gravity* (gr/cc)

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, G_{mm} pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Berat jenis maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{(P_s/G_{se} + P_b/G_b)} \dots\dots\dots(2-5)$$

Keterangan:

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

P_{mm} : Persen berat total campuran (=100)

P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran (%)

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity* (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)

d. Berat Jenis *Bulk* Campuran Padat

Perhitungan berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut:

$$Gmb = Wa/V_{bulk} \dots\dots\dots(2-6)$$

Keterangan:

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Wa : Volume campuran setelah pemadatan (cc)

V_{bulk} : Berat di udara (gr)

e. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

$$Pba = 100 \frac{Gse - Gsb}{Gsb \times Gse} - Gb \dots\dots\dots(2-7)$$

Keterangan:

Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat (gr/cc)

Gse : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)

1.12 Pengujian Marshall

Pengujian marshall dilakukan untuk menganalisis nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Pengujian Marshall pada campuran AC-WC digunakan untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat Marshall seperti:

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut.

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan pada jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial diperlukan konversikan terhadap alat marshall. Selain itu pada umumnya alat marshall yang digunakan bersatuan Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

2. Kelelahan (*Flow*)

Menurut The Asphalt Institute, 1983, flow adalah angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertical pada benda uji, dinyatakan dalam mm atau 0,01” yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitasnya menurun yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum

dial. Alat uji jarum dial flow biasanya sudah dalam satuan milimeter, sehingga tidak perlu dikonversikan.

3. *Voids Filled Bitumen* (VFB)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³

$$VFB = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA}$$

Dengan:

VFB = rongga terisi aspal, persen terhadap VMA

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

VIM = rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

4. *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Rongga antar agregat adalah ruang rongga diantara partikel pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. VMA dihitung terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right) \dots\dots\dots(2-8)$$

dengan:

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

Gsb = berat jenis curah agregat

- Gmb = berat jenis curah hujan agregat
 Ps = persen agregat terhadap berat total campuran
 Pb = kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran

5. Voids In Mix (VIM)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumusan berikut:

$$VIM = 100 \times \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}} \dots \dots \dots (2-9)$$

Dengan:

- VIM = rongga didalam campuran, persen terhadap volume total campuran
 Gmb = berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)
 Gmm = berat jenis maksimum campuran

6. Marshall Quotient (MQ)

Hasil bagi Marshall/Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{Stability}{Flow} \dots \dots \dots (2-10)$$

Keterangan:

- MQ : Marshall Quotient (kg/mm)
 Stability : Marshall Stability (kg)
 Flow : Flow Marshall (mm)

1.13 Penelitian Terdahulu

Arys Andhikatama, dkk (2013) dalam penelitian Skripsi berjudul “Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet Wearing Course, HRS-WC)” limbah beton merupakan hasil buangan yang mudah sekali dijumpai di Indonesia. Memanfaatkan material limbah beton sehingga dapat digunakan kembali dengan nilai yang lebih ekonomis. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,13% pada agregat alami dan 7,08% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 52% limbah. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1011,64 kg, Flow 3,36%, VIM 5,65%, VMA 21,15%, Marshall Quotient 306,01 kg/mm, VFA 72,84%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi HRS–WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

Naufal Imannurohman, dkk (2020) dalam penelitian Skripsi berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite” Tujuan dari penelitian yang telah dilakukan adalah untuk menganalisis komposisi optimum limbah beton yang digunakan sebagai agregat kasar pada campuran aspal porus dan kadar aspal

optimumnya. Setelah itu dilakukan penelitian tahap selanjutnya untuk mendapatkan pengaruh penambahan Gilsonite terhadap karakteristik *Marshall*. Adapun metode penelitian yang digunakan yaitu dengan menggunakan standar gradasi Aspal Porus California dan Bina Marga. Digunakan variasi proporsi agregat kasar antara batu pecah/limbah beton 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 dan variasi kadar aspal 5%, 6%, 7%, 8%, 9%. Kemudian digunakan variasi kadar *Gilsonite* 7%, 8%, 9% dan 10% dari berat aspal pada campuran optimum. Masing-masing dibuat 3 benda uji untuk dilakukan dua jenis pengujian yaitu *Falling Head* sesuai ASTM dan *Marshall* sesuai Bina Marga. Hasil yang didapat dari penelitian adalah komposisi agregat kasar optimum yaitu 0/100 (Batu pecah/limbah beton) dengan KAO 7,5%. Hasil tersebut didapat dari membandingkan tiga metode yaitu metode Grafik Pita, 3D dan Kontur. Dan kemudian didapatkan kadar *gilsonite* optimum 9% pada pengujian tahap kedua. Dengan penambahan *Gilsonite HMA Modifier Grade*, mampu membuat nilai VIM pada campuran aspal porus yang menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar menjadi memenuhi syarat yang ditentukan yaitu antara 18-25%. Penambahan *Gilsonite* tersebut juga meningkatkan nilai stabilitas campuran. Limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal porus juga memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai stabilitas, dilihat dari komposisi optimum yang didapat adalah campuran dengan 100% limbah beton sebagai agregat kasar. Namun pada campuran tanpa menggunakan tambahan *Gilsonite*, VIM yang dihasilkan masih belum mampu memenuhi syarat standar dikarenakan dengan menggunakan aspal pen 60/70, aspal cenderung meresap pada agregat dan mengisi rongga antar agregat pada campuran

Mohmad Purwoko Sidi, dkk (2020) dalam penelitian Skripsi berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC)” Material penyusun perkerasan jalan raya membutuhkan sumber daya alam batuan yang sangat besar dengan jumlah sumber yang terbatas, limbah beton sebagai salah satu alternatif pengganti agregat maupun filler dari campuran perkerasan sangat mungkin Memanfaatkan material limbah beton yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan urugan akan menguntungkan bagi kita. Sehingga limbah beton dapat digunakan kembali dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi. Metode penelitian yang akan digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. sedangkan penelitian pendahuluan yang digunakan adalah variasi kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,89% pada agregat alami dan 5,94% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 29%. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1093,7 kg, Flow 3,31%, VIM 4,09%, VMA 16,36%, Marshall Quotient 328,73 kg/mm, VFA 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi AC–WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

BAB III

METODE PENELITIAN

1.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis limbah beton sebagai bahan campuran agregat pada aspal Laston lapis aus (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dalam penelitian di laboratorium diadakan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi perencanaan campuran Laston lapis aus (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) yang memenuhi spesifikasi. Data yang dihasilkan digunakan untuk perancangan campuran, selanjutnya dibuat benda uji (briket) untuk dilakukan uji Marshall sehingga diketahui karakteristik campuran tersebut. Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1

1.2 Pengambilan Material

Pengambilan material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Palu pada stockfile yang berada di Aspaht Mixing Plant (AMP) PT. Karya Halim Sampoerna Jalan Lingkar Luar KM. 4,6 No.88 Palangka Raya untuk pengambilan material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di KM.38 Jalan Tjilik Riwut. dan pengambilan limbah beton dari sisa bongkaran bangunan yang berada di wilayah Kota Palangka Raya pada Jl. Menteng VI.

Pengambilan data dilakukan dengan membuat benda uji (briket) sebanyak 30 buah dalam 2 kali percobaan. Percobaan pertama dibuat 15 benda uji yang terdiri dari 1 macam komposisi dari agregat alami yang mendekati spesifikasi dengan 5 variasi kadar aspal. Tiap kadar aspal dibuat 3 buah benda uji yang kemudian

hasilnya dirata-ratakan untuk kemudian didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).

Percobaan kedua, Digunakan limbah beton dengan Proposi Campuran dan kadar aspal yang sama seperti Agregat Alami yang didapat dari percobaan pertama digunakan sebagai kadar aspal untuk membuat 15 buah benda uji, yang terdiri dari 5 variasi persentase Kadar Aspal terhadap berat aspal yang diperoleh Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji. Pembuatan dan pengujian benda uji ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

1.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Banjarmasin pada stockfile yang berada di Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Karya Halim Sampoerna Jalan Lingkar Luar KM. 4,6 No.88 Palangka Raya untuk pengambilan material Pasir dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di KM.38 Jalan Tjilik Riwut dan pengambilan limbah beton dari sisa bongkaran bangunan yang berada di wilayah Kota Palangka Raya pada Jl. Menteng VI.
2. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70
3. Bahan Pengganti Agregat yang digunakan adalah limbah beton yang didapat dari sisa konstruksi bangunan yang kemudian di olah agar sesuai dengan gradasi yang diperlukan.

1.4 Alat-Alat Penelitian

1. Alat Untuk Mengukur Sifat Fisik Agregat

a. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan gradasi agregat adalah sebagai berikut:

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,2% untuk menimbang bahan yang akan diuji.
- 2) Satu set saringan meliputi saringan dengan ukuran 19 mm (3/4"), 12,5 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"), No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200.
- 3) Oven, mesin pengguncang saringan, stopwatch, talam-talam, kuas, sendok, dan alat-alat lainnya.

b. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

1) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut:

- a) Keranjang yang berukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No.6 atau No.8) dengan kapasitas ± 5 Kg, Keranjang digunakan untuk meletakkan sampel dan tempat pengayak agregat dari sisa air.
- b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, sebagai tempat merendam benda uji.
- c) Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang, untuk menimbang bahan yang akan diuji.

d) Oven yang dilengkapi dengan pengaturan suhu sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.

e) Alat pemisah contoh dan saringan No.8

2) Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut:

a) Timbangan dengan kapasitas 1 kg atau lebih digunakan untuk menimbang bahan, piknometer dengan kapasitas 500 ml digunakan untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida.

Kerucut terpancung dengan diameter (90 ± 3) mm digunakan untuk mengisi benda uji.

b) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbu rata berat (340 ± 1) kg dengan diameter permukaan penumbukan (25 ± 3) mm. berguna untuk memadatkan benda uji yang dimasukan kedalam kerucut terpancung.

c) Saringan No.8 talam, bejana tempat air, oven pengukur suhu, tungku pemanas (hot plate), stopwatch, dan lap bersih.

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Peralatan yang digunakan dalam pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut:

1) Mesin los angeles dan bola-bola dengan diameter rata-rata 4,68 cm dan berat masing-masing antara 400 gr sampau 440 gr sebanyak 11 buah. Bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan

dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 terhadap berat semula dalam persen.

- 2) Saringan no.12 dan saringan-saringan lainnya. Berguna untuk menyaring bahan sesuai dengan ketentuan lolos saringan.
- 3) Timbangan dan oven dengan pengaturan suhu. Berguna untuk menimbang bahan dan oven berguna sebagai pengering benda uji sampai suhu yang sudah ditentukan.

d. Pemeriksaan kadar lempung pada agregat halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan kadar lempung pada agregat halus sebagai berikut:

- 1) Tabung sand equivalent, beban equivalent dan larutan standar. Berguna untuk mengetahui kadar lempung yaitu dengan memasukan bahan kedalam tabung sand equivalent kemudian dimasukkan larutan standar.
- 2) Talam, saringan No.8, sumbu karet gabus, corong dan stopwatch. Talam berfungsi sebagai bahan tempat menaruh sampel, saringan no. 8, karet gabus berfungsi sebagai penutup tabung sand equivalent ketika dikocok dan stopwatch berfungsi sebagai bahan pengukur waktu ketika tabung sand equivalent dikocok.

2. Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji

a. Pembuatan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- 1) Sejumlah cetakan benda uji berbentuk silinder yang bediameter 10 cm (4 inci) dan tinggi 7,5 mm (3 inci) lengkap dengan pelat alas dan leher lambung. Berfungsi untuk cetakan benda uji dan pelat alas sebagai alas benda uji.
- 2) Alat pengukur benda
- 3) Penumbuk yang memiliki permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh benda 45,7 cm. berfungsi menumbuk benda uji dengan ketinggian yang telah ditentukan.
- 4) Landasan pemadatan terdiri dari balok kayu yang dilapisi dengan pelat baja.
- 5) Oven dengan pengaturan suhu, kompor, timbangan, wajan, talam-talam, sendok pengaduk, thermometer, kertas saring dan sarung tangan.

b. Pemeriksaan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan benda uji adalah sebagai berikut:

- 1) Timbangan yang dilengkapi dengan keranjang penggantung berkapasitas 5 kg. berguna untuk menimbang benda uji.
- 2) Bak perendam (*water bath*), yang dilengkapi dengan pengaturan suhu, berguna untuk tempat merendam benda uji.
- 3) Alat marshall yang dilengkapi dengan :
 - a) Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, berguna untuk menekan benda uji agar diketahui nilai tekannya.

- b) Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2.500 kg atau 5.000pound dilengkapi dengan arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm. digunakan untuk mengukur nilai stabilitas.
- c) Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 beserta kelengkapannya. Berguna untuk mengukur tingkat kelelahan benda uji.

1.5 Cara Penelitian

1. Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat dilakukan pada suatu perencanaan campuran yang akan digunakan pada lapisan perkerasan. Agregat dapat dipergunakan untuk bahan perkerasan, apabila telah melalui pemeriksaan dan memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan

Pemeriksaan terhadap agregat tersebut dilakukan untuk memperoleh data yang akan dipergunakan pada perencanaan campuran, data yang diperlukan dalam perencanaan campuran meliputi data gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lempung yang terkandung dalam agregat.

2. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada metode pemeriksaan gradasi agregat kasar maupun halus menggunakan standar pemeriksaan yaitu, SNI 03-1968-1190. Peralatan yang digunakan adalah timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah contoh: mesin pengguncang saringan, stopwatch, talam, kuas sikat, sendok dan lain-lain.

Adapun langkah-langkah pemeriksaan gradasi agregat adalah sebagai berikut:

- a. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai berat tetap.
- b. Sampel ditimbang sesuai kebutuhan (masing-masing 1 kg) untuk agregat kasar dan halus)
- c. Sampel dicuci sampai bersih, kemudian air dibuang secara hati-hati diatas saringan no.200, agregat yang tertahan pada saringan dikembalikan pada wadah pencucian.
- d. Sampel dikeringkan sampai berat tetap dalam oven dengan suhu 110°C.
- e. Saring sampel lewat satu set saringan. Dengan nomor saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan mesin pengguncang saringan selama 15 menit.
- f. Sampel yang tertahan pada setiap nomor saringan masing-masing ditimbang dengan selanjutnya dilakukan perhitungan persentase berat sampel pada masing-masing saringan terhadap berat total sampel setelah disaring.

3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat dibagi dalam beberapa pemeriksaan sebagai berikut:

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1969-1190. Pemeriksaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan berat

jenis kering (*bulk*), berat jenis kering dipermukaan jenuh atau *saturated surface dry* (SSD), berat jenis semu (*apparent*) dan besarnya penyerapan agregat kasar. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan ukuran 1 inci dan tertahan di saringan no.8.

Adapun prosedur pelaksanaan dan pemeriksaan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang sampel kering oven seberat 5 kg.
- 2) Cuci sampel bersih dengan hati-hati supaya tidak ada yang terbang.
- 3) Keringkan sampel dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- 4) Keluarkan sampel dan dinginkan semalam 1-3 jam pada suhu ruangan, kemudian timbang dan catat beratnya sebagai (Bk)
- 5) Rendam sampel dalam air ± 24 jam.
- 6) Keluarkan sampel dari dalam air, lap dengan kain kemudian keringkan sampel sampai kering permukaan jenuh.
- 7) Timbang sampel kering permukaan jenuh dan catat beratnya sebagai (Bj).
- 8) Timbang sampel dalam air dan catat beratnya sebagai (Ba)

Perhitungan berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Bj. Kering Oven (bulk)} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \dots \dots \dots (3-1)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - B} \dots \dots \dots (3-2)$$

$$\text{Bj. Semu (Apparent)} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \dots \dots \dots (3-3)$$

$$\text{Penyerapan agregat} = \frac{Bj - Bk}{Bk} 100\% \dots \dots \dots (3-4)$$

b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1970-1190. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh atau *saturated surface dry* (SSD), berat jenis semu (*apparent*) dan angka penyerapan air daripada agregat halus. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan No.8.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang sampel kering oven dengan kapasitas 1 kg.
- 2) Rendam sampel dalam air selama 24 jam.
- 3) Buang air perendam dengan hati-hati supaya butiran tidak ada yang hilang.
- 4) Hamparkan sampel diatas talam, keringkan di udara panas dengan cara membolak-balikan sampel, lakukan pengeringan sampai terjadi keadaan kering permukaan jenuh.
- 5) Periksa sample pada keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan sampel ke dalam kerucut terpancung dalam tiga lapis dan padatkan 25 tumbukan

- 6) Angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila sampel mengalami keruntuhan akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- 7) Timbang sampel seberat 500 gr dan masukan kedalam piknometer.
- 8) Isi piknometer dengan air suling sampai sampel terendam seluruhnya.
- 9) Letakan piknometer diatas pelat pemanas (*hot plate*) kemudian didihkan selama 10 menit untuk mengeluarkan udara yang terserap di dalam sampel.
- 10) Dinginkan piknometer yang berisi sampel dan rendam piknometer dalam air dengan suhu 25°C sampai suhu dalam piknometer menunjukkan 25°C
- 11) Tambahkan air suling sampai tanda batas kalibrasi dan keringkan bagian luar piknometer dengan lap bersih, kemudian timbang piknometer yang berisi sampel dan air suling (Bt)
- 12) Keluarkan sampel dan keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 13) Keluarkan sampel dalam oven, dinginkan kemudian timbang (Bk)
- 14) Isi piknometer dengan air suling sampai batas kalibrasi dan timbang dengan suhu standar 25°C (B)

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Bj. Kering Oven (bulk)} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \dots\dots\dots (3-5)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan (SSD)} = \frac{500}{B+500-Bt} \dots\dots\dots (3-6)$$

$$\text{Bj. Semu (Apparent)} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\text{Penyerapan agregat} = \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (3-8)$$

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pada metode pengujian keausan agregat kasar menggunakan standar pengujian yaitu SNI 03-2417-1991. Adapun prosedur pelaksanaan pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang sampel secukupnya kemudian dicuci sampai bersih.
- 2) Keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 3) Timbang sampel sesuai gradasi atau spesifikasi yang digunakan.
- 4) Masukkan sampel ke dalam mesin *Los Angeles*.
- 5) Masukkan bola-bola baja sesuai dengan spesifikasi yang digunakan.
- 6) Putar mesin *Los Angeles* dengan jumlah putaran 500 kali.
- 7) Keluarkan sampel dengan molen, kemudian saring dengan saringan No.12
- 8) Material yang lolos saringan No. 12 dibuang, sedangkan material yang tertahan saringan No. 12 langsung dicuci sampai bersih, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.

- 9) Keluarkan sampel dari dalam oven dan dinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang.

Dari hasil percobaan ini, nilai keausan agregat kasar dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(3-9)$$

Keterangan:

a = berat total sampel semula (500 gram)

b = berat sampel yang tertahan saringan no.12, gram

d. Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus

Pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan kadar lempung yang dikandung oleh agregat yang lolos saringan No.8, sesuai dengan prosedur AASHTO T.176-73 (1982), dengan menggunakan tabung *sand equivalent*.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Ambil sampel (pasir) sebanyak 85 ml kemudian keringkan di dalam oven dengan suhu 110°C dan dinginkan pada suhu ruang.
- 2) Isi tabung *sand equivalent* dengan larutan standar setinggi 5 strip (skala tabung *sand equivalent*), kemudian masukkan sampel ke dalam tabung *sand equivalent*, ketuk-ketuk beberapa saat kemudian diamkan selama 10 menit.

- 3) Tutup tabung *sand equivalent* dengan penutup karet atau kayu gabus, kemudian dimiringkan sampai arah hampir mendatar dan kocok sebanyak 90 gerakan sejauh 20 cm pada arah mendatar.
- 4) Masukkan lagi larutan standar melalui selang ke dalam tabung sampai setinggi skala 15, kemudian diamkan selama 20 menit.
- 5) Baca skala pembacaan lumpur.
- 6) Masukkan beban *sand equivalent* secara perlahan-lahan sampai beban tersebut berhenti.
- 7) Baca skala setelah pembebanan.

Perhitungan untuk nilai *sand equivalent* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai sand equivalent} = \frac{\text{Skala Pasir}}{\text{Skala Lempung}} \times 100\% \dots\dots\dots (3-10)$$

1.6 Perencanaan Campuran (Mix Design)

Perencanaan campuran menggunakan Metode Marshall yang bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar dari perencanaan ini adalah gradasi agregat campuran. Kadar optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan Marshall di Laboratorium terhadap beberapa benda uji dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan proporsi gradasi tetap.

Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan cara grafik atau analitis. Rumus dasar pencampuran adalah:

$$P = Aa + Bb + Cc + Dd \dots\dots\dots (3-11)$$

Keterangan:

A, B, C, D = Persen material lolos saringan X dari kombinasi A, B, C, D

A,b,c,d = Proporsi Agregat A, B, C, D dalam campuran

$$a + b + c + d = 1$$

Adapun urutan percobaan campuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan proposi komposisi campuran terhadap total agregat.
 2. Dari hasil perhitungan proposi/komposisi campuran, selanjutnya dilakukan dengan variasi kadar aspal (5 variasi kadar aspal) yaitu berdasarkan kadar aspal yang telah ditentukan pada spesifikasi teknis.
 3. Membuat benda uji (briket) untuk setiap campuran (untuk 1 variasi kadar aspal dibuat 3 buah briket) dengan cara dicetak dan ditumbuk dengan alat
 4. Pemeriksaan benda uji meliputi: kadaan campuran, besarnya pori/rongga dalam campuran (Voids In Mixture atau VIM), besarnya pori/rongga yang terisi aspal (Voids Filled Bitumen atau VFB). Kekuatan (*stability*) campuran dan besarnya kelelahan (*flow*).
1. Penentuan Proposi Campuran Terhadap Total Agregat

Data hasil pemeriksaan gradasi agregat yang dilakukan dengan menggunakan saringan akan digunakan untuk merencanakan komposisi campuran agregat yang memenuhi persyaratan.

Dalam penelitian ini, ada dua acara perhitungan yang digunakan dalam menentukan proporsi/komposisi campuran, yaitu:

- a. Cara Diagonal, yaitu berupa perhitungan secara grafis dengan bantuan diagonal untuk menentukan komposisi campuran.

- b. Cara Coba-coba (*Trial and Error*), yaitu secara analitis dengan cara memperkirakan komposisi campuran yang selanjutnya dihitung kombinasi gradasi dari agregat campuran. Apabila kombinasi gradasi masuk pada spesifikasi yang telah ditentukan, maka komposisi yang dicoba dapat digunakan untuk proporsi/komposisi campuran yang akan diteliti.

Dalam menentukan proporsi/komposisi campuran, perhitungan awal dilakukan dengan menggunakan cara diagonal. Selanjutnya dari hasil komposisi yang didapat tersebut dikontrol kembali dengan menggunakan cara *Trial and Error*. Hal ini dilakukan untuk melihat proporsi/komposisi gradasi gabungan agregat apakah masuk ke dalam spesifikasi yang telah ditetapkan atau tidak.

2. Pembuatan Benda Uji dengan Limbah Beton

Adapun prosedur pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Benda Uji dan Kadar Aspal Awal

Menyiapkan benda uji marshall pada kadar aspal sebagai berikut:

- 1) Kadar Aspal (Pb) – 1,0 %
- 2) Kadar Aspal (Pb) – 0,5 %
- 3) Kadar Aspal (Pb)
- 4) Kadar Aspal (Pb) + 0,5 %
- 5) Kadar Aspal (Pb) + 1,0 %

Dimana nilai Pb dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.1, dan setiap variasi kadar aspal rencana diatas dibuat 3 (tiga) buah benda uji (briket) yang digunakan untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Tabel 3.1 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji	Keterangan
Pb – 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi AC-WC + kadar aspal Pb – 1,0 (%)
Pb – 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi AC-WC + kadar aspal Pb – 0,5 (%)
Pb (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi AC-WC + kadar aspal Pb (%)
Pb + 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi AC-WC + kadar aspal Pb +0,5 (%)
Pb + 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi AC-WC + kadar aspal Pb + 1,0 (%)
Jumlah		15 Buah

- b. Perencanaan bahan dilakukan secara manual dengan diaduk diatas wajan yang dipanaskan. Dilanjutkan proses pemadatan standar terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan (satu sisi atas dan satu sisi bawah) dengan suhu pemadatan $(140 \pm 15)^\circ\text{C}$. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan tinggi standar $\pm 6,25$ cm dan diameter $\pm 20,16$ cm. diamkan benda uji selama 24 jam pada suhu ruangan.
- c. Dari pembuatan benda uji dengan kadar aspal awal sesuai perhitungan Pb didapatkan nilai kadar aspal dan nilai VIM (*Void In Mix*). Setelah itu dilanjutkan dengan uji marshall sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO).

- d. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan campuran menggunakan bahan limbah beton dengan persentase yang sama terhadap persentase Kadar Aspal Optimum (KAO). Limbah Beton yang digunakan dicampur bersamaan dengan campuran aspal dan agregat yang dipanaskan. Setelah itu dilanjutkan dengan uji Marshall kembali menggunakan kadar aspal optimum sebanyak 3 (tiga) buah benda uji (briket) tiap variasi persentase.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Bahan Campuran Limbah Beton

Persentase Bahan Limbah Beton	Jumlah Benda Uji	Keterangan
100%	3 Buah	Campuran Agregat Spesifikasi AC-WC + kadar aspal optimum + 100% Limbah beton
Jumlah		15 buah

2. Pemeriksaan Benda Uji (Tes Marshall)

Pemeriksaan benda uji dengan tes marshall dilakukan untuk menganalisis karakteristik campuran agregat dan variasi kadar aspal.

Adapun urutan pelaksanaan tes marshall adalah sebagai berikut:

- a. Persiapan pengujian
 - 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
 - 2) Timbanglah benda uji yang sebelumnya dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering di udara
 - 3) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam
 - 4) Setelah direndam selama 24 jam, timbanglah benda uji tersebut untuk mendapatkan berat dalam air.

5) Selanjutnya benda uji diangkat dan dilap, kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat dalam keadaan kering permukaan jenuh.

b. Pelaksanaan Pengujian

1) Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 30-40 menit.

2) Sebelum pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan diberi pelumas sehingga kepala penekan dapat meluncur bebas dan mempermudah pelepasan benda uji.

3) Keluarkan benda uji dari bak perendam dan segera letakan kedalam segmen bawah kepala penekan. Perlu diketahui bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkat benda uji sampai tercapai beban maksimum tidak boleh melebihi 30 menit.

4) Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakan keseluruhannya dalam mesin penguji.

5) Pasang arloji pengukur kelelahan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.

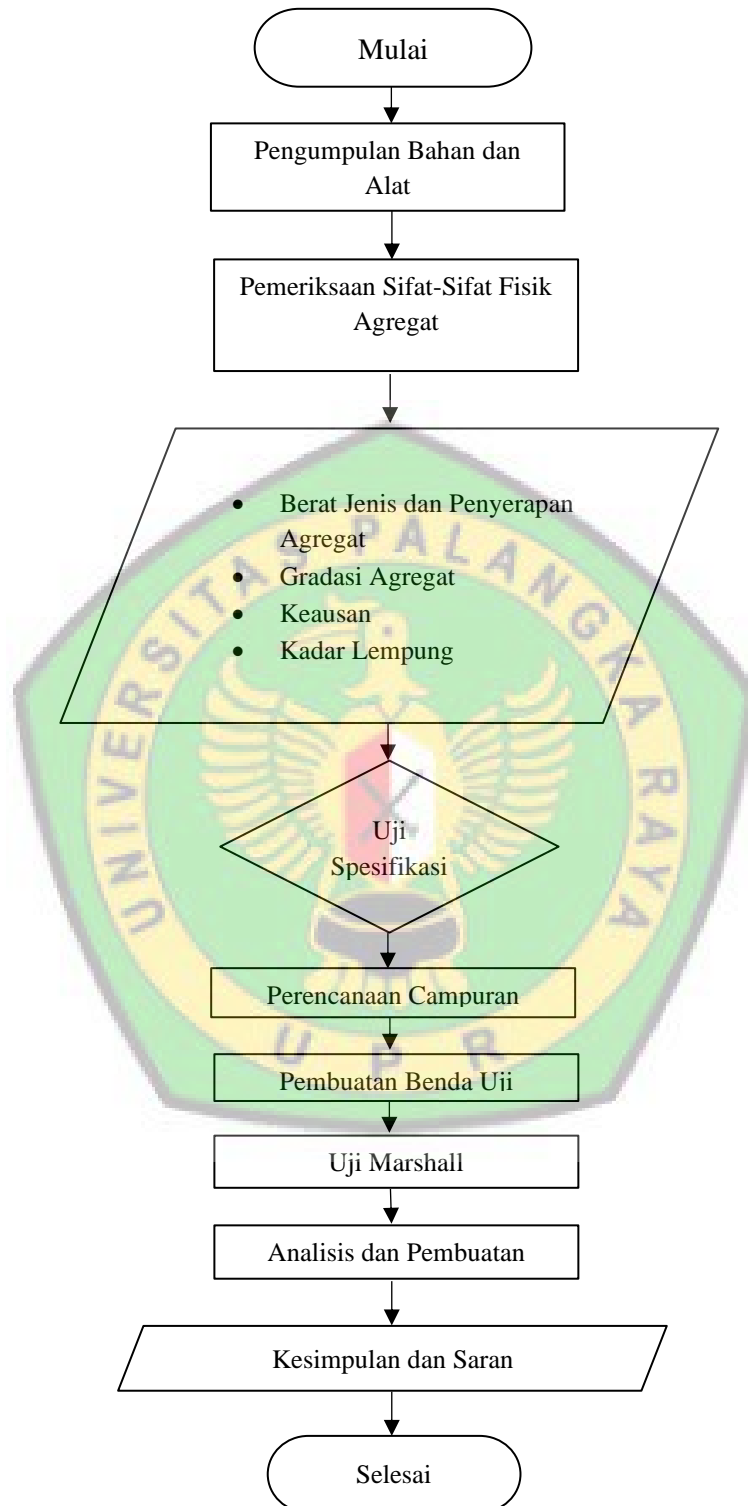
6) Naikan kepala penekan beserta benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum pembebasan maksimum tercapai.

7) Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai

- 8) Catat angka pembacaan pembebanan maksimum atau stabilitas yang dicapai dan angka pembacaan kelelahan (*flow*) pada saat pembebanan maksimum tercapai.
- 9) Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dari alat marshall
- 10) Selantnya nilai pembacaan stabilitas (*stability*) kelelahan (*flow*) digunakan dalam perhitungan yang dilakukan dalam table perhitungan tes Marshall



1.7 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya pada “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Limbah Beton dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Material Penyusun dalam perencanaan campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat berupa pemeriksaan gradasi (Analisis Saringan), berat jenis dan penyerapan, dan keausan agregat kasar pada Agregat Alami Memenuhi persyaratan Spesifikasi.
2. Komposisi yang dihasilkan dalam perencanaan campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) terdiri dari 33% agregat kasar, 25% abu batu dan 42% Pasir.
3. Hasil penelitian terhadap Parameter Marshall dengan variasi kadar aspal 4,5%,5,0%,5,5%,6,0%,6,5% dan diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 5,80% pada agregat alami dan tidak diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) pada limbah beton karena hanya nilai Stabilitas dan flow yang masuk kedalam spesifikasi.
2. Penggunaan limbah beton secara 100% sebagai agregat pengganti pada campuran AC-WC tidak dapat digunakan karena tidak memenuhi spesifikasi

pada parameter karakteristik Marshall namun memiliki stabilitas yang sangat tinggi.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Hasil analisis campuran perencanaan *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) menggunakan limbah beton tidak dapat digunakan sebagai pengganti 100% dari agregat alami. Sehingga disarankan menggunakan variasi campuran pada agregat alami dan limbah beton.
2. Penelitian ini dapat dilakukan kembali sebagai bahan campuran antara agregat alami dan limbah beton sebagai agregat kasar dengan variasi campuran yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian pada limbah beton yang diambil dari lokasi lain pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurrahman, Eros, 2013, *Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pengganti Pada Lapis Perkerasan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*.
- Andhikatama, Arys, 2013, *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course Gradasi Kasar*
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga, 2018, *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan*. Jakarta.
- Sidi, M. P., Wedyantadji, B., & Erfan, M. 2020. *pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat dalam campuran aspal beton lapis aus (AC-WC)*.
- Suwastika, P. M., Wedyantadji, B., & Erfan, M. (n.d.). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet - Wearing Course, Hrs-Wc)*.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Jakarta: Granit
- Sukirman, S, 1999, *Perkerasan lentur jalan raya*, Bandung: Nova
- Suprpto, 2004, *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*, Yogyakarta: KMTS FT UGM
- Suwastika, P. M., Wedyantadji, B., & Erfan, M. (n.d.). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet - Wearing Course, Hrs-Wc)*