

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

(Sukirman, 2010). *Hot Rolled Sheet* / Lataston adalah lapis permukaan yang menggunakan agregat bergradasi senjang dengan ukuran agregat maksimum 19 mm (3/4inci). Jenis Lataston terbagi menjadi 2 yaitu Lataston Lapis *Aus* (HRS-WC) dan Lataston Lapis Pondasi (HRS-BC).

Lataston bertujuan untuk mendapatkan lapisan permukaan atau lapisan antar pada perkerasan jalan raya yang dapat memberikan sumbangan daya dukung. lataston juga berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya. HRS mempunyai sifat lentur serta durabilitas tinggi, hal ini disebabkan kombinasi HRS dan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga dapat menyerap aspal dalam jumlah besar (7 % - 8 %) tanpa adanya *bleeding*. Tidak hanya itu, *hot-rolled sheet* ini mudah untuk dipadatkan, sehingga susunan yang dihasilkan memiliki ketahanan air dan ketahanan udara yang baik. Kerusakan awal yang sering terjadi di lapangan adalah pada proses penyebaran dan pemadatan, karena HRS tidak sepenuhnya murni *gapgraded*.

Adapun dua hal yang mempengaruhi campuran Lataston adalah :

1. Gradasi senjang. gradasi ini dapat diperoleh dengan mencampurkan pasir halus dengan agregat pecah mesin. batas bahan bergradasi senjang lataston

terletak diantara batas yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 30 (0,600 mm)

2. Ketentuan rongga udara harus memenuhi kepadatan yang sesuai dengan pedoman yang berlaku.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perkerasan Lentur Jalan Raya

(Sukirman, 2010). Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) adalah perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar (*Subgrade*) yang sebelumnya telah dipadatkan. pada perkerasan lentur lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dari atas dan menyebarkan ke lapisan yang ada dibawahnya. pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan yang melayani beban lalu lintas ringan sampai dengan sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak terletak dibawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap.

1. Kelebihan perkerasan lentur jalan raya

Keuntungan menggunakan perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

- A. Dapat digunakan pada daerah dengan perbedaan penurunan (*differential settlement*) terbatas
- B. Mudah diperbaiki
- C. Tambahan lapisan perkerasan dapat dilakukan kapan saja
- D. Memiliki tahanan geser yang baik

- E. Warna perkerasan memberikan kesan tidak silau bagi pemakai jalan
- F. Dapat dilaksanakan bertahap, terutama pada kondisi biaya pembangunan terbatas atau kurangnya data untuk perencanaan.

2. Kekurangan perkerasan lentur jalan raya

Kekurangan menggunakan perkerasan lentur sebagai berikut :

- A. Tebal total struktur perkerasan lebih tebal daripada perkerasan kaku
- B. Kelenturan dan sifat kohesi berkurang selama masa pelayanan
- C. Frekuensi pemeliharaan lebih sering daripada menggunakan perkerasan kaku
- D. Tidak baik menggunakan perkerasan lentur, jika sering digenangi air
- E. Membutuhkan agregat lebih banyak

3. Susunan Lapis Perkerasan Lentur Jalan Raya

Menurut (Hardiyatmo, 2011). Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapis material yang diletakkan pada tanah – tanah, komponen lapisan terdiri dari beberapa macam bahan *granuler* yang memberikan sokongan penting dari kapasitas struktural sistem perkerasan, khususnya untuk perkerasan lentur. Komponen material yang berkualitas tinggi diletakkan dibagian atas, semakin kebawah kualitas material semakin berkurang. Hal ini, karena tegangan akibat beban roda lalu – lintas, disebarkan semakin kebawah semakin mengecil.

Menurut (Sukirman, 2010) Berikut ini susunan lapis perkerasan lentur diantaranya:

A. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan adalah lapis perkerasan yang terletak paling atas. lapis permukaan ini berfungsi sebagai :

- 1) Lapisan *aus* (*Wearing Course*), lapisan yang langsung menerima gesekan dari rem kendaraan.
- 2) Lapisan yang kedap air
- 3) Penahan beban roda, lapisan ini mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda
- 4) Menyebarkan beban ke lapisan bawahnya

B. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan Pondasi Atas adalah lapisan yang terletak antara lapis pondasi bawah dan lapisan permukaan. lapisan ini berfungsi sebagai berikut :

- 1) Lapisan pendukung bagi lapisan permukaan
- 2) Lapisan peresapan untuk pondasi bawah
- 3) Bantalan terhadap lapisan permukaan
- 4) Penahan gaya dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan bawahnya

C. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan Pondasi bawah adalah lapisan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. lapisan ini berfungsi sebagai :

- 1) Lapisan peresapan agar air tanah tidak mengumpul dipondasi maupun ditanah dasar.
- 2) Untuk mendukung dan menyebarkan beban roda kendaraan ke lapis tanah dasar
- 3) Lapisan untuk mencegah masuknya partikel- partikel halus dari tanah dasar ke lapisan atasnya

D. Lapisan Dasar (*Subgrade*)

Tanah Dasar (*Subgrade*) adalah Lapisan tanah dasar dari suatu perkerasan jalan, dapat berupa tanah asli maupun tanah timbunan. lapisan ini berfungsi sebagai penahan beban lalu lintas dan sebagai pelindung agar air tidak masuk ke lapis permukaan yang ada di atasnya.

Peranan *subgrade* pada konstruksi jalan sangat penting karena merupakan dasar yang menentukan kualitas dan kemampuan daya dukung dari jalan tersebut, bilamana kualitas atau kondisi *subgrade* yang memiliki daya dukung yang rendah misalnya jenis tanah gambut yang umumnya dapat mengakibatkan penurunan pada badan jalan.

Jadi dalam perencanaan suatu konstruksi jalan khususnya jika jalan yang baru dibuat kiranya dilakukan penyelidikan tanah (*Investigation soil*) terlebih dahulu, sehingga dapat diketahui kapasitas daya dukung dari tanah dasarnya berdasarkan hasil CBR (*California Bearing Ratio*). Kekuatan dan keawetan pada struktur perkerasan jalan sangat tergantung terhadap sifat-sifat dan daya dukung *Subgrade* (tanah dasar).

2.2.2 Campuran Aspal Panas

Di Indonesia terdapat berbagai macam bentuk campuran aspal panas yang digunakan sebagai lapisan perkerasan jalan. perbedaan setiap bentuk campuran aspal panas terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. pemilihan jenis beton aspal yang digunakan disuatu lokasi sangat ditentukan oleh jenis karakteristik beton aspal yang lebih diutamakan. sebagai contoh, jika perkerasan direncanakan untuk digunakan untuk melayani lalu lintas berat, maka

sifat stabilitas dari perkerasan yang lebih diutamakan. ini berarti jenis beton aspal yang paling sesuai adalah beton aspal yang memiliki agregat campuran bergradasi baik. pemilihan jenis beton aspal ini mempunyai konsekuensi pori dalam campuran menjadi lebih sedikit, kadar aspal yang dapat dicampurkan juga berkurang, sehingga selimut aspal menjadi lebih tipis (Sukirman, 2003).

2.2.3 Tipe Campuran Aspal Panas

1. Lapisan Aspal Beton (Laston)

(Hardiyatmo, 2015). Laston adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. laston bersifat kedap air, mempunyai nilai *struktuktural*, awet, kadar aspal berkisar 4 – 7% terhadap berat campuran, dan dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang, sampai berat. campuran ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi. karena itu bahan ini tidak cocok diletakkan pada lapisan yang *fleksibel*, seperti lapis penetrasi. tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada lapisan ini adalah retak dan terlepasnya butiran. Aspal beton diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu berdasarkan fungsi dan berdasarkan metode pencampuran. (Sukirman, 2010).

A. Berdasarkan fungsi

Lapisan Aspal beton diklasifikasikan sebagai berikut :

- 1) Lapisan permukaan yang tahan terhadap gaya geser, cuaca, dan tekanan roda

- 2) Lapis pembentuk pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan.
- 3) Sebagai lapisan pondasi atas

B. Berdasarkan Metode Pencampuran

Lapisan Aspal beton dibedakan sebagai berikut :

- 1) Aspal beton yang memiliki *durabilitas* tinggi, yang bersumber pada BS 594, Inggris dan dikembangkan oleh CQCMU, Bina Marga Indonesia.

Laston terdiri dari tiga jenis campuran yaitu laston lapisan *aus* (AC-WC), laston lapis (AC-BC), dan laston lapis pondasi (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 2,45 mm, 37,5 mm. setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal *polimer* atau aspal *modifikasi* dengan aspal aklam disebut masing – masing sebagai *AC-WC Modified*, dan *AC-Base Modified*. (Sukirman, 2010)

A. AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*)

Lapisan ini letaknya paling atas dari lapisan perkerasan jalan. lapisan ini berfungsi sebagai lapisan *aus*. Lapisan AC-WC harus memiliki permukaan yang rata dan nyaman serta memiliki kekesatan yang tinggi karena lapisan ini langsung bersentuhan dengan roda kendaraan.

B. AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*)

Asphalt Concrete-Binder Course adalah lapisan perkerasan jalan yang terletak antara lapisan *aus* (AC-WC) dan lapisan pondasi atas (AC-Base). Lapisan AC-BC berfungsi menyalurkan beban yang diterimanya

menuju ke pondasi atau menuju lapisan bawahnya. Karakteristik yang terpenting pada campuran lapisan AC-BC ini adalah stabilitas. Lapisan ini harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu pondasi dan tanah dasar.

C. AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*)

Asphalt Concrete-Base adalah lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan AC-BC dan di atas lapisan pondasi bawah (*Subbase Course*). Lapisan ini berguna memberi dukungan atau menerima beban kendaraan dari lapisan AC-BC dan diteruskan kembali ke lapisan pondasi bawah.

Berikut adalah ketentuan sifat sifat campuran laston (AC) sesuai dengan Spesifikasi Bina marga 2016.

Tabel 2.1 ketentuan sifat sifat campuran laston yang dimodifikasi

| Sifat sifat campuran | | Lapis aspal beton (Laston) | | |
|--|------|----------------------------|--------------|---------|
| | | Lapis aus | Lapis antara | Pondasi |
| Jumlah tumbukan per bidang | | 75 | 75 | 112 |
| Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif | Min | 1,0 | | |
| | Maks | 1,4 | | |
| Rongga dalam campuran (%) | Min | 3,0 | | |
| | Maks | 5,0 | | |
| Rongga dalam agregat (%) | Min | 15 | 14 | 13 |
| Rongga terisi aspal (%) | Min | 65 | 65 | 65 |
| <i>Stabilitas marshall</i> (kg) | Min | 800 | | 1800 |
| Pelelehan (mm) | Min | 2 | | 3 |
| | Maks | 4 | | 6 |
| <i>Stabilitas marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C | Min | 90 | | |
| Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) | Min | 2 | | |

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Spesifikasi Umum Divisi 6 : 2016 Perkerasan Aspal)

Lapisan Tipis Aspal Beton (Lataston / HRS)

Lataston / HRS adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm. konstruksi perkerasan HRS dalam penggunaannya dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas A dan B . Perbedaan kedua konstruksi perkerasan tersebut terdapat pada gradasi agregat yang digunakan, beban lalu lintas dan segi pemakaian. jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan butirran pengisi (*filler*), sedangkan aspal yang digunakan biasanya jenis aspal keras AC 60-70 dan AC 80-100.

Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas dan fleksibilitas. Sesuai fungsinya Lataston mempunyai 2 macam campuran yaitu:

- A. Lataston sebagai lapisan permukaan, biasa disebut dengan nama HRS-WC (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*). Tebal minimum lapisan HRS-WC adalah 3 cm.
- B. Lataston sebagai lapisan pondasi, disebut dengan nama HRS-Base (*Hot Rolled Sheet-base*).Tebal minimum lapisan HRS-Base adalah 3,5 cm.

Tabel 2.2 Gradasi Agregat untuk Campuran lataston

| Ukuran Ayakan | | %Berat yang lolos | |
|------------------|------|---------------------|---------|
| ASTM (mm) | | Lataston Kelas A | Kelas B |
| 1 ^{1/2} | 37,5 | | |
| 1 | 25 | | |
| 3/4 | 19 | 100 | 100 |
| 1/2 | 12,5 | 90-100 | 90-100 |

Tabel 2.2 Lanjutan

| Ukuran Ayakan | | %Berat yang lolos | |
|---------------|-------|-------------------|---------|
| ASTM (mm) | | Lataston | |
| | | Kelas A | Kelas B |
| 3/8 | 9,5 | 75-85 | 75-85 |
| No.8 | 2,36 | 50-72 | 35-55 |
| No.16 | 1,18 | | |
| No.30 | 0,6 | 35-60 | 15-35 |
| No.200 | 0,075 | 6-12 | 2-9 |

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Spesifikasi Umum Divisi 6 : 2016 Perkerasan Aspal)

A. Spesifikasi Campuran Lataston

Ketentuan sifat – sifat campuran Lataston (*Hot Rolled Sheet*) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Persyaratan HRS untuk kepadatan lalu lintas berat

| No | Spesifikasi | Nilai |
|----|-------------------|-------------|
| 1 | Jumlah Tumbukan | 75 x 2 |
| 2 | Densitas | - |
| 3 | VITM | 4 - 6 % |
| 4 | VFMA | ≥ 68% |
| 5 | Stabilitas | ≥ 800 kg |
| 6 | Flow | ≥ 3 mm |
| 7 | Marshall Quotient | ≥ 250 kg/mm |

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Spesifikasi Umum Divisi 6 : 2016 Perkerasan Aspal)

3. Lapisan Tipis Aspal Pasir (Latasir)

Latasir (Lapisan Tipis Aspal Pasir) adalah campuran beton aspal untuk jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya dimana agregat kasar tidak atau sulit diperoleh. lapisan ini khusus mempunyai ketahanan alur (*rutting*) rendah. oleh karena itu tidak diperbolehkan untuk daerah berlalu lintas berat atau daerah tanjakan. latasir biasa pula disebut dengan SS (Sand Sheet) atau HRSS (*Hot*

Rolled Sand Sheet). adapun sesuai gradasi agregat latasir dapat dibedakan diantaranya: (Sukirman,2010)

- A. Latasir Kelas A, atau dikenal dengan nama HRSS-A atau SS-A. Tebal nominal minimum HRSS-A adalah 1,5 cm.
- B. Latasir kelas B, atau dikenal dengan nama HRSS-B atau SS-B. Tebal lapisan minimum HRSS-B adalah 2 cm. gradasi agregat HRSS-B lebih kasar dari HRSS-A.

4. ***Butonite Mastic Asphalt (BMA)***

Butonite Mastic Asphalt (BMA) adalah suatu jenis bahan pengikat (binder) yang merupakan campuran partikel asbuton mikro dengan bahan pelunak jenis *asphaltic base*. *Asbuton mikro* adalah aspal batu buton yang digiling, sehingga mempunyai ukuran butiran maksimum 1 mm. BMA dapat digunakan untuk bahan pengikat AC, HRS atau SMA. (Cristiady, 2011)

5. ***Split Mastic Asphalt (SMA)***

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah campuran beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal . lapisan ini terutama digunakan untuk jalan – jalan dengan beban lalu lintas berat. (Sukirman,2010)

Ada 3 jenis SMA (*Split Mastic Asphalt*) diantaranya:

- A. Jenis SMA 0/5 dengan tebal perkerasan 1,5 – 3 cm
- B. Jenis SMA 0/8 dengan tebal perkerasan 2 – 4 cm
- C. Jenis SMA 0/11 dengan tebal perkerasan 3 – 5 cm

2.2.4 Unsur Penyusun Campuran Aspal Panas

1. Aspal

Aspal adalah material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan perkerasan. jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya. (Sukirman,2010).

Menurut Sukirman (2012), aspal digunakan sebagai material dalam perkerasan jalan berfungsi sebagai:

- A. Bahan Pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat dan antara sesama aspal.
- B. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dalam pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dibedakan menjadi 2 yaitu : aspal alam dan aspal buatan

A. Aspal Alam

Aspal Alam adalah Aspal yang dihasilkan melalui minyak bumi yang mengalir keluar melalui retak retak kulit bumi. Setelah minyak menguap, maka tinggal aspal yang melekat pada batuan yang dilalui. Contoh dari aspal ini adalah aspal gunung (*rock asphalt*) dan aspal danau (*lake asphalt*).

B. Aspal Buatan

Aspal yang diperoleh dari hasil penyulingan dari bahan-bahan seperti minyak bumi dan batu bara. Aspal minyak adalah aspal yang diambil dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal buatan dibedakan menjadi aspal minyak (hasil penyulingan minyak bumi) dan aspal *tar* (hasil penyulingan batubara). Aspal minyak dapat dibedakan menjadi 3 yaitu : (Sukirman,2010)

1) Aspal Keras (*Asphalt cement*)

Aspal keras adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas, berbentuk padat.

2) Aspal Dingin

Aspal dingin adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin.

3) Aspal Emulsi (*Emulsion Asphalt*)

Aspal yang digunakan dalam keadaan dingin ataupun panas dan disediakan dalam bentuk emulsi.

2. Agregat

Menurut (pusjatan, 2019), agregat atau batu atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Isitilah agregat mencakup antara lain: batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir

Menurut (Sukirman, 2003) agregat merupakan komponen utama dari suatu struktur perkerasan yaitu 90 – 95%. berdasarkan persentase berat , atau berkisar antara 75 – 95 % berdasarkan presentase volume. sifat agregat merupakan salah

satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan, maka perlu dilakukan pemeriksaan yang teliti.

sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butiran tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis dan daya kelekatan dengan aspal.

Berikut macam macam dari agregat berdasarkan dimensi ukuran :

A. Agregat Kasar

(pusjatan, 2019), Agregat kasar adalah agregat yang butirannya tertahan saringan no. 8 (2,36 mm). Agregat kasar membuat perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan berkendara. Agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton harus memenuhi ketentuan yang ada.

Berikut adalah ketentuan dari agregat kasar menurut spesifikasi Bina Marga 2016:

Tabel 2.4 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar

| No | Jenis Pemeriksaan | Syarat |
|----|---|--------|
| 1 | Keausan dengan mesin Los Angeles (SNI 2417:2008) | < 30 % |
| 2 | Kelekatan pada aspal (SNI 2439 :2011) | >95 % |
| 3 | Kekekalan bentuk agregat terhadap natrium(SNI 3407: 2008) | 12 % |
| 4 | Material lolos ayakan No. 200 (SNI 03 – 4142 : 1996) | <2 % |
| 5 | Partikel pipih dan lonjong (ASTM D4791 perb 1:5) | 10 % |

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Spesifikasi Umum Divisi 6 : 2016. Perkerasan Aspal



Gambar 2.1 Agregat Kasar

Sumber: Dokumen Penulis, 2021

B. Agregat Halus

Agregat Halus adalah agregat yang butirannya lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 200. Agregat halus dapat meningkatkan stabilitas campuran antara butiran. Selain itu agregat halus juga mengisi ruang antara butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya.

Berikut adalah ketentuan dari agregat kasar menurut spesifikasi Bina Marga 2010:

Tabel 2.5 ketentuan pengujian agregat halus

| Pengujian | Standar | Nilai % |
|--|-----------------------|----------------|
| Nilai setara pasir | SNI 03-4428-1997 | Min 60 |
| Angularitas dengan uji kadar | 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 : Spesifikasi umum divisi 6 : 2016 perkerasan aspal

3. Gradasi Agregat

Gradasi berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan *stabilitas* perkerasan. gradasi agregat mempengaruhi besarnya

rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. agregat yang mempunyai ukuran seragam akan menghasilkan pori antar butiran menjadi besar. sebaliknya jika agregat mempunyai ukuran bervariasi akan mempunyai volume pori kecil, dimana butiran kecil mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori porinya menjadi sedikit. (Sukirman,2010).

Berikut adalah ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-2002

Tabel 2.6 ukuran butir agregat

| Ukuran | Bukaan % | Ukuran | Bukaan (mm) |
|----------------------|----------|--------------------|-------------|
| 4 inch | 100 | $\frac{3}{8}$ inch | 9,5 |
| 3 $\frac{1}{2}$ inch | 90 | No. 4 | 4,75 |
| 3 inch | 75 | No. 8 | 2,36 |
| 2 $\frac{1}{2}$ inch | 63 | No. 16 | 1,18 |
| 2 inch | 50 | No. 30 | 0,6 |
| 1 $\frac{1}{2}$ inch | 37,5 | No. 50 | 0,3 |
| 1 inch | 25 | No. 100 | 0,15 |
| $\frac{3}{4}$ inch | 19 | No. 200 | 0,075 |
| $\frac{1}{4}$ inch | 12,5 | | |

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya, Sukirman S. 2010

Menurut (Sukirman, 2010), Gradasi Agregat dibedakan menjadi 3 diantaranya:

A. Gradasi Buruk (*poorly graded*)

Gradasi buruk merupakan gradasi dengan salah satu atau lebih fraksi penyusun agregat hilang, sehingga membuat susunan fraksi agregat tidak lengkap. Campuran yang menggunakan gradasi buruk akan memiliki sifat rapat di beberapa bagiannya, namun menimbulkan rongga di bagian lainnya.

B. Gradasi Rapat (*Dense Graded*)

Gradasi rapat merupakan gradasi yang sempurna karena komposisi antar agregat butiran kecil dan butiran besar berada pada presentase yang berimbang atau agregat penyusunnya lengkap dari yang terkecil hingga terbesar. Agregat gradasi yang baik akan memberikan suatu keadaan kepadatan dan stabilitas yang baik akibat kontak butir yang hampir menyeluruh pada bidang permukaan, kurang kedap air, dan berat volume besar.

C. Gradasi Seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam merupakan gradasi agregat yang mempunyai ukuran hampir sejenis atau mengandung agregat halus yang cukup sedikit sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam dari komposisi butiran akan menghasilkan suatu kepadatan yang bervariasi akibat kontak butir sebagian.

4. Filler / Bahan Pengisi

Hardiyatmo (2015) *filler* adalah material yang lolos saringan no. 200 (diameter 0,075 mm). Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Bahan pengisi atau *filler* berfungsi diantaranya:

- A. Sebagai pengisi antara partikel agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butiran yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.

- B. Jika ditambahkan kedalam aspal, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan aspal mengikat partikel agregat.
- C. Penambahan kadar *filler* dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan karena jika terlalu tinggi kadar *filler*, maka campuran akan mudah retak. *filler* juga memiliki persyaratan untuk digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton.

Tabel 2.7 Persyaratan Filler

| Sifat umum | Kadar air | Max 1% |
|------------|-------------------|------------------|
| | Gumpalan Partikel | Tidak ada |
| | Bukaan Saringan | % lolos saringan |
| Gradasi | 0,6 mm | 100 |
| | 0,15 mm | 90 - 100 |
| | 0,074 mm | 70 - 100 |

Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, Saodang H. 2005*

2.2.5 Bahan Tambah Aditif Aspal HRS-BC

1. Limbah B3

Limbah B3 adalah salah satu unsur yang sudah tak terpakai atau yang berasal dari hasil pembuangan. Biasanya, limbah ini ditemukan dari hasil industri yang akhir, seperti hasil pembuangan. Akan tetapi, zat ini tak bisa dibiarkan begitu saja, karena terdapat unsur tertentu yang berbahaya bagi lingkungan sekitar. Untuk itu, diperlukan proses pengelolaan, termasuk pada pengendalian limbah dengan bahan beracun dan berbahaya.

Limbah yang berbahaya atau yang dikenal dengan limbah B3 ini pun memiliki ciri-cirinya. Termasuk pada beberapa karakter dari limbah bahan beracun dan berbahaya, seperti:

A. Memiliki sifat korosif.

Limbah yang bersifat korosif adalah limbah yang memiliki ciri dapat menyebabkan iritasi pada kulit, menyebabkan pengkaratan pada baja, mempunyai $\text{pH} \geq 2$ (bila bersifat asam) dan $\text{pH} \geq 12,5$ (bila bersifat basa). Contoh limbah B3 dengan ciri korosif misalnya, sisa asam sulfat yang digunakan dalam industri baja, limbah asam dari baterai dan accu, serta limbah pembersih sodium hidroksida pada industri logam.

B. Mempunyai sifat irritated.

C. Termasuk pada bahan radioaktif.

D. Mengandung racun.

Limbah beracun adalah limbah yang memiliki atau mengandung zat yang bersifat racun bagi manusia atau hewan, sehingga menyebabkan keracunan, sakit, atau kematian baik melalui kontak pernafasan, kulit, maupun mulut. Contoh limbah b3 ini adalah limbah pertanian seperti buangan pestisida.

E. Dapat menyebabkan iritasi.

Limbah yang dapat menyebabkan iritasi adalah limbah yang menimbulkan sensitasi pada kulit, peradangan, maupun menyebabkan iritasi pernafasan, pusing, dan mengantuk bila terhirup. Contoh limbah ini adalah asam formiat yang dihasilkan dari industri karet.

F. Mudah untuk meledak.

Limbah mudah meledak adalah limbah yang pada suhu dan tekanan standar dapat meledak karena dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi lewat reaksi fisika atau kimia sederhana. Limbah ini sangat berbahaya baik saat penanganannya, pengangkutan, hingga pembuangannya karena bisa menyebabkan ledakan besar tanpa diduga-duga. Adapun contoh limbah B3 dengan sifat mudah meledak misalnya limbah bahan eksplosif dan limbah laboratorium seperti asam prikat.

G. Mudah untuk terbakar.

Contoh limbah B3 dengan sifat mudah terbakar adalah Karbit yang sering digunakan untuk pengelasan logam karena reaksi karbit dengan air bisa menghasilkan gas asetilen yang dapat menyebabkan sifat mudah terbakar.

H. Mempunyai sifat reaktif.

A. Jenis – Jenis Limbah B3

Selain dari karakteristiknya, limbah berbahan beracun tersebut dapat dibedakan lagi menjadi beberapa jenis, diantaranya:

- 1) Limbah dari sumber yang spesifik ialah suatu limbah b3 yang dihasilkan oleh suatu pabrik ataupun industri, tetapi pada bagian tertentu.

- 2) Limbah dari sumber yang tidak spesifik termasuk pada limbah b3 yang dihasilkan pada aktifitas proses pemeliharaan alat, pelarutan kerak, dan lainnya.
- 3) Limbah dari sumber lainnya yaitu pada hasil dari proses yang berbahan kimia tetapi sudah kadaluarsa atau produk tertentu yang sudah tidak memenuhi spesifikasi.

B. Pengelolaan Limbah B3

Tidak sedikit yang bisa dijumpai dari adanya limbah dengan sebutan limbah beracun dan berbahaya atau limbah b3. Untuk itu, tindakan pengelolaan limbah ini sangat diperlukan, terlebih lagi untuk industri ataupun bagi pabrik yang menghasilkan unsur yang disebut dengan limbah.

Tujuan pengelolaan hasil akhir yang tak terpakai ini guna melindungi lingkungan sekitar serta menjaga kesehatan yang ada. Tindakan pengendalian dan juga pengelolaan limbah b3 ini tidaklah sulit, bisa dengan mengikuti beberapa prosedur yang telah direncanakan. Sesuai dengan urutan yang pasti, yaitu:

- 1) Penyimpanan
- 2) Pengumpulan
- 3) Pengangkutan
- 4) Pemanfaatan
- 5) Pengelolaan
- 6) Penimbunan

Dari beberapa urutan tersebut, pada nantinya akan memproses limbah yang berbahaya menjadi limbah yang aman. Sehingga, tidak membahayakan lingkungan dan kesehatan di sekitarnya. Untuk lebih detailnya, bisa dengan beberapa penjelasan berikut ini, yaitu:

- a. Pada proses penyimpanan dan pengumpulan ini bertujuan untuk menghindari limbah b3 ke lingkungan sekitar.
- b. Pengangkatan ini mencakup pada proses pemilihan limbah yang aman dan yang harus diproses.
- c. Pada proses pemanfaatan ini termasuk pada kegiatan untuk mendaur ulang beberapa limbah yang bisa dipakai dan memang aman.
- d. Pengelolaan limbah b3 ini bertujuan untuk mengurangi kadar racun dari limbah yang dihasilkan. Sehingga, dari limbah yang berbahaya, menjadi aman dan tak berbahaya.
- e. Proses pengolahan ini merupakan langkah penambahan zat senyawa pada limbah b3.
- f. Penimbunan ini termasuk pada kegiatan untuk menampung ataupun mengisolasi limbah b3. Karena limbah tersebut sudah tak bisa dimanfaatkan lagi dan lebih aman untuk ditimbun.

2. Limbah Karbit (Limbah B3)

Limbah karbit adalah sebuah produk dari gas *acetylene*. gas ini digunakan diseluruh dunia untuk penerangan, pengelasan, pemotongan besi, juga untuk mematangkan buah. karbit dibuat dengan proses yang sangat sederhana. dimana terjadi reaksi antara *kalsium karbida* (CaC_2) dengan air (H_2O) untuk

menghasilkan gas *acetylene* (C_2H_2). Kalsium karbit yang merupakan hasil sampingan pembuatan gas *acetylene* adalah berupa padatan berwarna putih kehitaman atau keabu-abuan. awal dihasilkannya limbah karbit berupa *koloid* (semi cair) karena gas dan air. Setelah 3-7 hari, gas yang terkandung menguap perlahan seiring dengan penguapan gas dan air kapur. setelah limbah karbit mulai mengering, limbah karbit berubah menjadi gumpalan-gumpalan yang rapuh dan mudah di hancurkan serta dapat menjadi serbuk (Mahendra *et al.*, 2019).

Limbah Karbit merupakan limbah B3 (Bahan berbahaya dan beracun). menurut (PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 101 TAHUN 2014, 2014) tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun mendefinisikan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sebagai zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.



Gambar 2.2 Limbah Karbit

Sumber : Dokumen Penulis,2021

A. Kandungan Limbah Karbit

Limbah Karbit didapatkan dari sisa pembakaran karbit yang tidak terpakai. sama halnya dengan semen, limbah karbit memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi, limbah karbit mengandung sekitar 60% unsur kalsium , komposisi kimia limbah karbit antara lain yaitu 1,48% SiO₂, 59,98% CaO, 0,09% Fe₂O₃, 9,07% Al₂O₃, 0,67% MgO dan 28,71% Unsur lain.(Novita, S., Rofaidah, S., dan Asro, 2010). Limbah las karbit dapat pula meningkatkan kinerja aspal, yang dalam hal ini mempengaruhi karakteristik campuran seperti persen rongga dan ketahanan terhadap *deformasi*. (Wiharto, 2015)

Penambahan limbah karbit merupakan upaya untuk memanfaatkan limbah sebagai bahan perekat, karena komposisi kimia limbah karbit 60 % mengandung *Calcium Oksida* (CaO), SiO₂= 1.48%, Fe₂O₃ = 0,09%, Al₂O₃ = 9,07% dll, diketahui bahwa unsur pembentuk utama dari semen adalah Calsium yang berasal dari batu kapur, dengan begitu maka limbah karbit hasil pengelasan merupakan material pembentuk semen (Aninda *et al.*, 2019).

Penambahan limbah karbit merupakan upaya untuk meningkatkan unsur kalsium yang diperlukan dalam terjadinya reaksi *pozzolanic* bila tercampur dengan SiO₂ dalam *fly ash*. Reaksi *pozzolanic* merupakan reaksi antara kalsium, *silika* atau *aluminat* dengan air sehingga membentuk suatu massa yang keras dan kaku yang hampir sama dengan proses hidrasi pada Portland Cement. (Dewi, Dermawan and Ashari, 2016)

B. Sifat – Sifat Limbah Karbit

Limbah karbit memiliki berbagai macam sifat-sifat, baik sifat fisik maupun kimia. Sifat fisik merupakan sifat yang dimiliki variabel tanpa bereaksi dengan bahan lain, termasuk sifat mekanik. Sedangkan sifat kimia adalah perilaku material apabila bereaksi secara kimia dengan bahan lain.

1) Sifat Fisik

Kandungan kalsium yang cukup tinggi membuat limbah karbit ini memiliki sifat-sifat fisik yang menyerupai kalsium hidroksida dalam hal:

- a. Senyawa kimia terbesar adalah CaO dan Ca(OH)
- b. Daya ikat terhadap air cukup tinggi.
- c. Sifat non plastis karena merupakan bahan berbutir.
- d. Mempunyai bau karbit yang khas.
- e. Diameter butiran-butiran relatif lebih besar dibanding butiran lempung.
- f. Dapat merusak kulit terutama limbah karbit yang baru keluar dari pemrosesan.

2) Sifat kimia

Tabel 2.8 Komposisi Kimia Limbah Karbit Dalam Persen Berat

| Senyawa | Jumlah % |
|--------------------------------|----------|
| S ₂ O ₂ | 0,50 |
| CaO | 72,33 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,04 |
| Al ₂ O ₃ | 3,20 |
| Lain – Lain | 23,93 |

Sumber : (Putri, 2017)

2.2.6 Karakteristik Campuran Aspal Panas dengan Limbah Karbit

Menurut Sukirman,S.,(2016) bahwa campuran dari aspal dan agregat yang direncanakan harus dapat memenuhi karakteristik tertentu agar dapat bertahan pada kondisi beban lalu lintas dan iklim sehingga dapat menghasilkan suatu perkerasan yang kuat, aman dan nyaman.

Menurut (Asphalt Institute MS-22, 2001). perancangan campuran beraspal untuk lapis perkerasan harus memenuhi sifat – sifat sebagai berikut:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal dalam melawan deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. stabilitas ditentukan oleh tahanan gesek atau derajat penguncian yang dapat dikembangkan oleh partikel agregat, dan kohesi yang dapat dikembangkan semen aspal. stabilitas akan maksimal, jika agregat mempunyai permukaan kasar/tidak beraturan, dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan agregat dapat disebarkan dengan merata. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai *stabilitas*:

$$S = P \times q \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Pembacaan pada arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : Angka koreksi pada tebal benda uji

2. Keawetan / Daya Tahan (*Durability*)

Daya Tahan (*Durability*) adalah daya tahan suatu lapis perkerasan terhadap keausan (disintegrasi) akibat beban lalu lintas dan pengaruh perubahan cuaca, dengan tanpa mengalami pelepasan film aspal dari butiran agregat. perubahan cuaca dapat mengakibatkan penuaan aspal, yang antara lain meliputi oksidasi dan penguapan fraksi ringan aspal. faktor faktor yang dapat meningkatkan durabilitas campuran agregat aspal adalah kadar aspal tinggi, gradasi agregat rapat, pemadatan sempurna, campuran agregat aspal kedap air, serta batuan penyusun lapis perkerasan harus cukup keras.

3. Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan (*fleksibilitas*) adalah campuran aspal harus mengakomodasi lendutan permanen dalam batas – batas tertentu dengan tanpa mengalami retak – retak. untuk mendapatkan kelenturan yang tinggi, maka dapat digunakan agregat yang bergradasi terbuka atau gradasi senjang. aspal yang digunakan harus lunak (penetrasi tinggi), atau digunakan kadar aspal relatif tinggi sejauh dalam batas – batas masih belum terjadi *bleeding*.

4. Kekesatan (*Skid Resistance*)

Kekesatan merupakan lapis permukaan aspal harus mempunyai kekesataan yang cukup tinggi, sehingga menjamin keselamatan pemakai jalan, terutama bila dalam kondisi basah. untuk mempertinggi kekesatan, maka kadar aspal harus tepat, permukaan agregat harus kasar, agregat berbentuk kubus dan persen agregat kasar cukup. Berikut adalah faktor – faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan yaitu:

- A. Kekasaran permukaan dari butir agregat. agregat yang digunakan tidak hanya mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan.
- B. Luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir
- C. Gradasi agregat
- D. Kepadatan campuran
- E. Tebal *film* aspal
- F. Ukuran maksimum butir agregat

5. Ketahanan Kelelahan Plastis (*Flow*)

Ketahanan kelelahan plastis (*Flow*) merupakan kemampuan pada perkerasan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi. Nilai kelelahan adalah perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm. untuk mengetahui tingkat kelelahan campuran aspal panas dilakukan pengujian *marshall* dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 60 °C.

6. Kekedapan Air (*Water Resistance*)

Kekedapan air maksudnya kekedapan campuran beraspal terhadap masuknya air dan udara. hal ini diperlukan untuk mencegah lolosnya air dan kontak langsung aspal dengan udara. air dan udara mempercepat proses penuaan aspal. selain itu, air juga dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada dipermukaan agregat.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan Pelaksanaan (*workability*) adalah campuran aspal harus mudah dikerjakan dalam pelaksanaan dilapangan, termasuk penghamparan dan pematatannya. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat *efisiensi* pekerjaan. adapun Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pematatan diantaranya:

- A. *Viscositas* aspal
- B. Kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur
- C. Gradasi dan kondisi agregat Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran

2.2.7 *Marshall Test*

Setelah benda uji selesai dibuat semua maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan alat yang dinamakan *marshall test*. *marshall test* adalah alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji). *proving ring* ini dilengkapi dengan arloji pengukur dan arloji kelelahan (*Flow meter*). arloji pengukur berguna untuk mengukur stabilitas campuran sedangkan arloji kelelahan digunakan untuk mengukur kelelahan plastis (*Flow*) pada campuran aspal panas. *proving ring* ini mempunyai kapasitas 2500 kg atau 5000 pon.

Menurut Sukirman. S., (2016) menyatakan bahwa pengujian *Marshall* dilakukan untuk berbagai tujuan antara lain:

- a. Sebagai bagian dalam proses pengikatan campuran beton aspal.
- b. Sebagai bagian dalam sistem peminjaman mutu campuran.
- c. Sebagai bagian dari penelitian karakteristik beton aspal

Setelah dilakukan pengujian *marshall test* maka akan didapatkan data – data diantaranya:

1. Nilai *Stabilitas* yang menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya *rutting*. nilai *stabilitas* ini dinyatakan dalam bilangan bulat.
2. Kelelehan plastis (*flow*) dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur. *Flow* dapat dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch.
3. VMA merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA dan VIM adalah indikator dari *durabilitas*.
4. VIM merupakan persen rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma.

Dalam campuran aspal dengan agregat, terdapat aspal yang terserap agregat dan menempati volume total dari agregat. beberapa definisi berikut ini sering digunakan dalam perancangan dengan metode *marshall*: (Hardiyatmo, 2011)

1. Berat Jenis kering (*bulk*)

Berat jenis bulk (bulk specific gravity) adalah berat per satuan volume campuran. berikut adalah rumus mencari berat jenis bulk:

$$G_{sbtotal} = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$G_{sbtotal}$: Berat jenis *bulk* agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis *bulk* masing-masing agregat, (gr/cc)

2. Berat jenis semu dari total agregat

Untuk mencari nilai dari berat jenis semu dari total agregat dapat dilihat dari rumus dibawah ini :

$$G_{\text{satotal}} = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

G_{satotal} : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$: Berat jenis semu dari masing-masing agregat, (gr/cc)

3. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif agregat adalah berat jenis dari agregat termasuk seluruh rongga pori dalam partikel agregat, tidak termasuk rongga pori yang menyerap aspal. berat jenis efektif agregat dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$G_{\text{se}} = \frac{G_{sb}+G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

G_{se} : Berat jenis efektif total agregat, (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

G_{sa} : Berat jenis semu agregat, (gr/cc)

4. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum diperlukan untuk mencari atau menghitung kadar rongga udara dalam campuran. ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. berikut rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari berat jenis maksimum campuran :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_{sb}}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

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

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

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran, (%)

P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

G_{se} : Berat jenis efektif, (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis aspal, (gr/cc)

5. Berat jenis *bulk* campuran padat

Berat jenis *bulk* campuran padat dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)

V_{bulk} : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)

W_a : Berat di udara, (gr)

6. VIM (*Void in the mix*)

VIM merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Syarat nilai VIM adalah sekitar 3% - 5% sesuai dengan *spesifikasi* Bina Marga 2010. Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran, (%)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan, (gr/cc)

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

7. VMA (*Void In Mineral Agregate*)

VMA adalah kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimal 14 % sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VMA = \frac{100 (Gsb - Gmb) + Gmb \cdot Ps}{Gsb} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, (%)

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

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

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

8. VFA (*Void Filled With Asphalt*)

VFA merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal pengikat. aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang menyelimuti butir butir agregat didalam beton aspal padat. dan VFA inilah yang merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 65%. Nilai VFA dapat dihitung dengan rumus seperti berikut:

$$VFA = \frac{(VMA-VIM)}{VMA} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

VFA : Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)

VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat, (%)

VIM : Persentase rongga udara pada campuran, (%)

9. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif dari suatu campuran aspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal terserap oleh agregat. kadar aspal efektif menyatakan kadar aspal yang menyelimuti bagian luar agregat, yang berpengaruh pada kinerja campuran aspal. kadar aspal efektif dinyatakan dengan rumus :

$$P_{be} = Pb - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

P_{be} : Kadar Aspal Efektif

P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

P_{ba} : Aspal Terserap Oleh Agregat

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran, (%)

10. Aspal Terserap Oleh Agregat

Aspal terserap oleh agregat adalah jumlah aspal yang terserap oleh agregat yang dinyatakan dalam persen berat dari berat total agregat. jumlah aspal terserap oleh agregat dinyatakan oleh persamaan :

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se}-G_{sb}}{G_{se} \cdot G_{sb}} \times G_b \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

P_{ba} : Aspal terserap oleh agregat

G_{se} : Berat jenis efektif agregat

G_{sb} : Berat Jenis *Bulk* Total Agregat

G_b : Berat Jenis Aspal

11. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall quotient* diperoleh dari hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai *marshall quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai pada ketentuan persyaratan Bina Marga 2010. Nilai *marshall quotient* diperoleh dari rumus dibawah ini:

$$MQ = S / F \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

MQ : Nilai *marshall quotient*, (kg/mm)

S : Nilai *stabilitas*, (kg)

F : Nilai *flow*, (mm)

2.3 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian pertama dilakukan oleh (Manoppo *et al.*, 2011). penelitian yang dilakukan dengan judul pemanfaatan tras sebagai *filler* dalam campuran aspal panas *HRS-WC*. Dalam komposisi campuran untuk material bahan pengisi (*filler*) dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar yaitu 6 % s/d 12 %. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan agregat kasar, sedang, halus, pasir serta tras dengan komposisi sesuai *spesifikasi*. Dari hasil penelitian diperoleh komposisi gradasi gabungan yang ideal yaitu dengan *proporsi* agregat kasar 10 %, sedang

20%,halus 50%,pasir 10% serta Tras 10 % dengan *persentase* aspal 6%. Hasil akhir Penelitian ini adalah dengan evaluasi *Marshall* dimana diperoleh untuk Stabilitas 1624 kg,Flow 3,29 mm ,*Quotient Marshall* 493 kg/mm ,VIM 5,87 % , VMA 16,29 % VFB 68,45% yang masih memenuhi batas spesifikasi.. Hasil ini menunjukkan bahwa Tras dapat digunakan dalam campuran Aspal HRS-WC.

(**Suhirkam, Marpaung and Flaviana, 2015**). menggunakan penelitian limbah karbit sebagai bahan pengisi (*Filler*) pada campuran aspal panas jenis *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*. Penelitian ini menggunakan alat marshall untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum, stabilitas, kelelahan, *VIM*, *VMA*, *VFA* dan *MQ* dengan *persentase* 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. hasil penelitian ini didapatkan bahwa campuran *AC-WC* dengan limbah karbit yang paling efektif adalah pada *persentase* 50% dengan nilai KAO sebesar 5,89%, nilai *VMA* sebesar 16,92%, nilai *VIM* sebesar 6,50%, nilai *VFA* sebesar 97,60%, nilai stabilitas sebesar 1950 kg, nilai *Flow* sebesar 10 mm, dan nilai *MQ* sebesar 1400 kg/mm.

(**Permana, Prasetyanto and Zurni, 2016**). Penelitian ini mengarah terhadap Studi Penggunaan Limbah Las Karbit untuk Bahan Tambah pada Perkerasan Laston Gradasi *AC-WC*. Penelitian ini dilakukan pada Laston *AC-WC* menggunakan aspal pen 60 bercampur dengan limbah las karbit 2,5 % dan 5 %. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui *parameter Marshall* dari karakteristik beton aspal dengan jenis aspal yang berbeda. Hasil dari *parameter Marshall* didapat kadar aspal optimum (KAO) untuk aspal 0 % sebesar 6,6 %, untuk aspal karbit 2,5 % didapat 6,7 %, dan untuk aspal karbit 5 % sebesar 6,8

%. Nilai *VIM* pada campuran aspal 0 % cenderung lebih kecil dibandingkan dengan campuran aspal *modifikasi* limbah las karbit baik yang 2,5 % maupun 5 %. *Stabilitas* dengan menggunakan aspal *modifikasi* limbah las karbit 5% lebih besar dibandingkan dengan aspal *modifikasi* 2,5%. Nilai *stabilitas* dipengaruhi oleh rongga (*VMA*) yang kecil yang mengakibatkan *interlocking* antara agregat yang cukup baik.

(Damara *et al.*, 2018), melakukan penelitian terhadap Pengaruh Penambahan Limbah Karbit (B3) pada Kuat Tekan Beton Mutu K-175. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat tekan beton dengan penambahan limbah ampas dari sisa karbit las *acyetilene* dengan komposisi penambahan 5%. Perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan menggunakan campuran ampas karbit sebagai pengganti semen, dimana dalam pengujian beton merujuk pada beton mutu rendah dengan kuat tekan K-175. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pada pembuatan beton campuran ampas karbit ini adalah pada komposisi ampas karbit 5% kuat tekan rata-rata sebesar 249,69 kg/cm² dengan kenaikan sebesar 1,77% dibanding beton normal yang mencapai tegangan hancur rata-rata 245,34.

(Intanti *et al.*, 2018). Penelitian tentang Serat Enceng Gondok sebagai bahan alternatif *Admixture* pada Laston Tipe XI SNI 03-1737-1989 ditinjau terhadap nilai – nilai uji marshall. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, serat eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan pengganti serat selulosa dan dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal panas karena serat eceng gondok mampu menyerap aspal serta memperkuat aspal. didapatkan hasil penelitian dari

5 variasi campuran yang digunakan pada campuran Laston tipe XI didapatkan kadar serat eceng gondok yang nilainya terbaik dan memenuhi *spesifikasi* SNI 03-1737-1989 adalah kadar serat 6% yang di dapat dari data perhitungan menggunakan grafik serta perhitungan permodelan regresi, dimana *Marshall Stability* yang di dapatkan yaitu sebesar 644,46 Kg, *Flow* sebesar 3,39 mm , *VMA* (Rongga dalam agregat) sebesar 13,83 % , *VFWA* (Rongga dalam udara) sebesar 65,35%, *VIM* (Rongga terisi aspal) sebesar 2,52 % , *Density* sebesar 2,31 gr/cc , dan *Marshall Quotient* sebesar 164,03 Kg/mm.

(Prasetyo and Arif, 2018), melakukan penelitian dengan judul Studi Pencampuran Serat Enceng Gondok Sistem *Hot Rolled Sheet BC Spesifikasi* Seksi-6:2010 Bina Marga. Dari Hasil pemeriksaan dan analisis karakteristik *Marshall* dimana nilai terbesar diperoleh untuk *Stabilitas* sebesar 1601 kg, nilai *Flow* 4,60 mm, nilai *Marshall Quotient* 375,44 kg/mm , *VMA* 20,45 % . *VFWA* 86,79 % , dan nilai *VIM* sebesar 4,19 % . Hasil ini menunjukkan bahwa serat selulosa dapat meningkatkan mutu aspal dan dapat digunakan dalam campuran Aspal *HRS-BC*. Berdasarkan hasil *Marshall Properties* dari 5 variasi yang digunakan diperoleh Kadar Serat *Selulosa* Eceng Gondok optimum yang terbaik adalah 3% dari kadar Aspal 7,19 % dan telah sesuai pada *spesifikasi* Bina Marga 2010 Divisi 6

(Satyagraha, 2018). penelitian ini berjudul Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Pada Laston (*AC-BC*) Terhadap Karakteristik *Marshall*. penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan menggunakan tambah ban karet bekas kendaraan dengan variasi yang berbeda yaitu 0%, 2%, 3%, dan 4%. hasil

penelitian ini menunjukkan bahwa ban bekas mempengaruhi nilai karakteristik aspal pada pengujian *marshall*. penambahan paling efektif adalah pada kadar 3% dengan kepadatan sebesar 2,23 gr/cc, nilai VIM sebesar sebesar 6,62%, nilai VMA 14,61%, nilai VFA sebesar 54,81%, nilai *Flow* 3,23 mm, nilai *stabilitas* 3071,37 kg serta nilai *MQ* sebesar 954,61 kg/mm. dari data tersebut dapat disimpulkan Penambahan kadar bahan tambah ban karet bekas pada penelitian ini ada yang tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu VFA dan VIM, namun untuk persyaratan lain sudah memenuhi Persyaratan Bina Marga, diantaranya kepadatan, VMA, *Flow*, *MQ* dan *stabilitas*.

(Arifianto *et al.*, 2019). Penggunaan Serat Enceng Gondok dalam Campuran Laston Tipe V SNI 03-1737-1989 Terhadap *Indeks Marshall Properties*. dalam penelitian ini Serat eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan tambah campuran Laston Tipe V SNI 03-1737-1989. Pengaruh penambahan serat eceng gondok dalam campuran Laston Tipe V SNI 03-1737-1989 terhadap indeks Marshall Properties, dengan kadar serat eceng gondok yang terbaik atau ideal untuk ditambahkan ke dalam campuran Laston Tipe V SNI 03-1737-1989 sebesar 2,5 %. Dimana nilai *Marshall Stability* naik sebesar 5,88%, *Flow* menurun 11,19%, VIM meningkat 38,59%, VFWA menurun 6,54%, VMA meningkat 5,60%, *Density* meningkat 2,59% dan *MQ* naik 19,64%.

(Aninda *et al.*, 2019). Judul Penelitian kajian eksperimental pengaruh penggantian sebagian semen dengan limbah las karbit pada mortar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan limbah las karbit pada mortar. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu

5%, 20%, 15% dan 20%. Dari hasil penelitian keseluruhan mortar masuk dalam tipe mortar kelas M (SNI 036881-2002) dengan kuat tekan minimal 17.2 MPa, kecuali kuat tekan mortar dengan penggantian 20% sebagian semen dengan limbah las karbit yaitu 157.51 kg/cm², setara dengan 15.45 MPa. Kuat tekan mortar dengan limbah las karbit sebagai pengganti sebagian semen tidak bisa menyamai kuat tekan mortar normal tanpa bahan tambah limbah las karbit. Kuat tekan mortar tanpa limbah las karbit yang dijadikan variabel kontrol yakni sebesar 329.33 kg/cm². Sementara kuat tekan mortar dengan proporsi penggantian sebagian semen dengan limbah las karbit 5%, 10%, 15%, dan 20% secara berturut – turut adalah 286.38 kg/cm², 243.42 kg/cm², 200.47 kg/cm², dan 157.51 kg/cm². Maksimal penggantian semen dengan limbah las karbit sebesar 15% untuk memenuhi kuat tekan kelas mortar tipe M (kuat tekan minimal 175 kg/cm²). Hal ini terjadi karena limbah las karbit dalam pengujian ini tidak memungkinkan untuk mensubstitusi semen hingga 20% dikarenakan peran semen tidak tergantikan oleh limbah las karbit.

(Demmalino, Lambe and Rahman, 2019). penelitian yang dilakukan adalah dengan Pengujian Slag Nikel Sebagai Pengganti Agregat Pada Campuran HRS-Base. Penelitian ini dimasukkan untuk menguji karakteristik campuran Lataston HRS-Base dengan memanfaatkan slag nikel berdasarkan pengujian laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa slag nikel dari Soroako Kab. Luwu Timur memenuhi spesifikasi sebagai bahan lapisan permukaan jalan. Melalui uji Marshall diperoleh karakteristik campuran Lataston *HRS-Base* bergradasi senjang dan

semi senjang dengan kadar aspal 5,0%, 5,93%, 6,35%, 6,78, dan 7,2% memenuhi persyaratan. Hasil pengujian *Marshall Immertion* campuran Lataston *HRS-Base* bergradasi senjang dan semi senjang pada kadar aspal optimum 6,35% mendapatkan *Indeks Perendaman (IP)* / *Indeks Kekuatan Sisa (IKS)* / *Durabilitas* campuran sebesar 97,03% dan 98,00% Dimana dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat kasar dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan karena memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga.

(**Tulloh, 2019**). Penelitian dengan judul Kuat Tekan *Mortar* dengan memakai Limbah Las Karbit Sebagai *Substitusi* Semen. Penelitian menggunakan proporsi campuran dengan perbandingan 1:4 (1 semen : 4 pasir) bahan penyusun mortar terdiri dari semen, limbah las karbit, pasir, dan air. Perbandingan komposisi campuran yang dipakai adalah (100% semen : 0% limbah karbit : 4 pasir), (95% semen : 5% limbah karbit : 4 pasir), (90% semen : 10% limbah karbit : 4 pasir), (85% semen : 15% limbah karbit : 4 pasir), dan (80% semen : 20% limbah karbit : 4 pasir). Cetakan benda uji berukuran 5 cm x 5 cm x 5cm sebanyak 30 buah, pengujian dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan terbesar terjadi pada perbandingan campuran (100% semen : 0% limbah karbit : 4 pasir) yaitu sebesar 17,89 Mpa 14 hari dan 22,04 Mpa 28 hari, sedangkan kuat tekan terkecil terjadi pada perbandingan campuran (80% semen : 20% limbah karbit : 4 pasir) yaitu 9,81 Mpa 14 hari dan 13,01 Mpa 28 hari. Nilai hasil kuat tekan dengan penambahan prosentase limbah las karbit nilai kuat tekan akan semakin menurun.

(Widianto *et al.*, 2019). Pengaruh Campuran Serat Enceng Gondok pada Laston Tipe II *Spesifikasi* SNI 03-1737-1989 Terhadap Nilai Nilai *Marshall*. didapatkan hasil pengaruh penambahan Serat Eceng Gondok pada Laston Tipe II *Spesifikasi* SNI 03-1737-1989 ditinjau terhadap nilai-nilai *Marshall* didapat hasil *Marshall Stability* mengalami kenaikan, kenaikan tertinggi pada penambahan serat eceng gondok 0,7% = 837kg, *Void In The Mix* mengalami kenaikan, kenaikan tertinggi pada penambahan serat eceng gondok 0,7% = 4,16%, *Void In Mineral Aggrerate* mengalami kenaikan, kenaikan tertinggi pada penambahan serat eceng gondok 0,7% = 16,68 %, *Void Filled With Asphalt* mengalami penurunan, terendah pada penambahan serat eceng gondok 0,7% = 71,89%, *Flow* mengalami penurunan, penurunan terendah pada penambahan serat eceng gondok 0,7% = 3,53 mm, *Marshall Quotient* mengalami kenaikan, kenaikan tertinggi pada penambahan serat eceng gondok 0,7% = 236,93 kg/mm.

(Mahendra *et al.*, 2019). penelitian yang dilakukan adalah dengan pemanfaatan limbah karbit sebagai material pengganti semen terhadap kuat tekan beton normal. Pengujian dilakukakan ketika beton mencapai umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Uji yang dilakukan adalah uji kuat tekan menggunakan *Compression Testing Machine* laboratorium Teknik Sipil UNESA. Hasil dari penelitian ini didapat nilai kuat tekan maksimal limbah karbit berada pada titik 10% pada beton normal dengan mutu 25 Mpa. Melebihi itu kuat tekan beton akan mengalami penurunan. Pada persentase 12,5 % nilai kuat tekan mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan sifat halus dari karbit tidak mampu menyamai sifat dari semen. Butiran limbah karbit tidak mampu menyamai

kehalusan dari semen. Butiran yang terlalu banyak justru akan menimbulkan rongga pada beton. Rongga tersebut akan menurunkan nilai kuat tekan beton pada saat pengujian dilakukan. Beton uji yang mengandung limbah karbit terlalu banyak akan mengalami segregasi yang menyebabkan keretakan di banyak sisi ketika pengujian.

(Irawan, 2019). melakukan penelitian dengan judul studi kuat tekan beton dengan memanfaatkan limbah karbit sebagai substitusi semen dan limbah kaca sebagai substitusi pasir. Variasi pengujian mempergunakan limbah karbit sebagai substitusi semen sebesar 7% dan 10% dan pada limbah serbuk kaca sebagai substitusi pasir sebesar 5% dan 7,5% dalam campuran beton, serta dengan kombinasi penggunaan kedua bahan tersebut diharapkan dapat menjadi material alternatif campuran beton, juga mengurangi limbah yang dapat merusak lingkungan, serta untuk dapat mengetahui kuat tekan yang dihasilkan dengan bahan tersebut. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan metode SNI 032834-2000, dan mutu beton rencana 25 MPa. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari data pengujian kuat tekan beton, nilai variasi optimal pada limbah karbit yaitu sebesar 10%, sedangkan nilai variasi optimal pada limbah kaca yaitu sebesar 7,5%. Dan pada campuran kombinasi limbah karbit 10% ditambah limbah kaca 7,5% mengalami peningkatan yaitu sebesar 4,92% pada umur 7 hari, sebesar 4,87% pada umur 14 hari, dan sebesar 1,08% pada umur 28 hari, jika dibandingkan dengan beton normal. Hal ini membuktikan bahwa limbah karbit dan limbah

kaca dapat menjadi bahan alternatif *substitusi* semen dan pasir pada variasi tertentu.

(Putra *et al.*, 2019). penelitian tentang Pengaruh Penggunaan Serat Rotan Terhadap *Stabilitas* Dan *Durabilitas* Untuk Bahan Tambah Campuran Lataston. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap karakteristik campuran Lataston *HRS-WC* dan *HRS-BASE* dengan memanfaatkan serat rotan sebagai bahan tambah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan dengan penambahan serat rotan memenuhi spesifikasi sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Hasil uji Marshall diperoleh karakteristik campuran Lataston *HRS-WC* dengan kadar serat rotan 10% mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) / durabilitas sebesar 94,77% dan Lataston *HRS-BASE* dengan kadar serat rotan 10% mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) / *Durabilitas* sebesar 92,48%. dari Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Pengaruh penggunaan serat rotan dalam campuran lataston *HRS-WC* dan *HRS-BASE* adalah *Stabilitas* meningkat, *VIM* meningkat, *flow* meningkat, *VMA* meningkat, dan *VFB* menurun. *durabilitas/Indeks* kekuatan Sisa/*Indeks* perendaman campuran masih memenuhi standar/spesifikasi yang ditetapkan bina marga yaitu campuran tahan terhadap suhu dan lamanya terendam dalam air.

(Wiguna *et al.*, 2019), dengan judul Alternatif Penggunaan Pasir Laut Paciran sebagai bahan susun Aspal Panas *AC-WC*. Hasil penelitian didapatkan dengan menggunakan *Substitusi* variasi Pasir laut 0%, 50%, 75%, 100% dari berat agregat halus menunjukkan nilai *Marshall Properties* yang paling ideal

dihitung dengan menggunakan persamaan model *regresi* dengan indeks determinasi paling tinggi dimana pada persamaan model tersebut didapatkan nilai indeks determinasi (R^2) = 1 untuk *Marshall properties* yang paling tinggi adalah *subtitusi* pasir laut 30% dengan *parameter marshall* yang meliputi : *Stability* 1029,27 kg, *VIM* 5,07%, *VMA* 16,35%, *VFWA* 81,36%, *Flow* 2,98 mm, *Marshall Quotient* 343,85%. Dari hasil tersebut *subtitusi* pasir laut dengan kadar 30% memenuhi kriteria dalam standar nasional indonesia.

(Budianto *et al.*, 2020), melakukan penelitian terhadap Alternatif Penggunaan Agregat Halus Batu Kapur Mantup Dalam Campuran Aspal Panas AC-WC. Dari hasil penambahan variasi campuran batu kapur halus sebesar 25%, 50%, 75% dari berat agregat halus pada penelitian ini menunjukkan kenaikan nilai *stabilitas Marshall (Marshall Stability)*, tertinggi sebesar 33,07% pada campuran 75%, kelelahan plastis (*Flow*) tertinggi sebesar 3,57% pada campuran 50%, rongga dalam campuran (*Void in the Mix*) yang masuk dalam spesifikasi angka tertinggi sebesar 7,49% pada campuran 0%, rongga terisi aspal (*Void Filled With Asphalt*) kenaikan tertinggi sebesar 85,22% pada campuran 75%, rongga dalam agregat (*Void In Mineral Aggregate*) menurun sebesar 16,11% pada campuran 75%, serta *Marshall Quotient* meningkat sebesar 29,63% pada campuran 75%.

(Zakir *et al.*, 2020). penelitian tentang Pengaruh Penggantian *Filler* Limbah Karbit terhadap karakteristik aspal pada campuran aspal beton lapisan *Aus AC-WC*. pada penelitian ini menggunakan kadar aspal 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran terbaik

dengan kadar *filler* komposisi 50% dengan nilai density sebesar 2,37 gr, nilai *VMA* sebesar 16,68%, nilai *VIM* sebesar 3,94%, nilai *VFA* sebesar 76,40%, nilai *stabilitas* sebesar 1297 kg, nilai *Flow* sebesar 3,76 mm, dan nilai *MQ* sebesar 345 kg/mm.

(Iqbal *et al.*, 2020), melakukan penelitian tentang Analisis Penambahan Limbah Karbit sebagai *Filler* (abu batu) Campuran Aspal *AC-WC*. pengaruh kuat tekan *marshall test* dengan penambahan limbah las karbit sebagai filler pada campuran aspal *asphalt concrete wearing course (AC-WC)* yaitu dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3%. didapatkan hasil penelitian dari variasi 0% dengan nilai *stabilitas* 1169 kg, *VMA* 16,92%, *VFA* 73,14%, *VIM* 4,54%, *Flow* 3,70 mm, dan *MQ* 324,7%. kemudian pada variasi 1% didapatkan nilai *stabilitas* 1019,2 kg, *VMA* 27,84%, *VFA* 38,62%, *VIM* 17,1%, *Flow* 10,2 mm, dan *MQ* 200,78%. pada variasi 2% didapatkan nilai *stabilitas* 998,4 kg, *VMA* 23,62%, *VFA* 50,80%, *VIM* 12,3%, *Flow* 5,95 mm, dan *MQ* 168,08%. dan pada variasi 3% didapatkan nilai *stabilitas* 1331,2 kg, *VMA* 21,60%, *VFA* 54,03%, *VIM* 9,9%, *Flow* 5,65 mm, dan *MQ* 238,95%. pada campuran *AC-WC* dengan variasi 1%, 2%, 3% mengalami kenaikan serta mengalami penurunan terhadap pengujian. hal ini dapat disimpulkan bahwa untuk penambahan limbah las karbit sebagai *filler* pada campuran aspal *AC-WC* untuk nilai karakteristik tidak bisa digunakan dalam pengganti *filler* abu batu.

(Saputra, Anisah and Saleh, 2020), melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah karbit sebagai bahan tambah pada mortar ditinjau dari kuat tekan. Pemanfaatan limbah karbit sebagai bahan tambah ditinjau dari kuat tekan

dapat mencapai kuat tekan mortar tipe M, dari Hasil penelitian ini dapat disimpulkan antara lain: Pertama, penggunaan limbah karbit sebagai bahan tambah mortar untuk kuat tekan dapat meminimalisir limbah karbit yang terbuang dan tak terpakai pada beberapa tempat pengisian gas *acetylene* yang digunakan untuk pengelasan. Kedua, mortar dengan penambahan limbah karbit dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dapat meningkatkan kuat tekan mortar pada pencampuran 1 Pasir : 2 Semen yang melebihi mutu mortar tipe M yaitu 17,2 MPa yang dapat digunakan sebagai dinding penahan. Ketiga, pencampuran limbah karbit paling optimum terdapat pada variasi 7,5% yang memiliki nilai *konsistensi* tertinggi dan semua variasi penambahan limbah karbit memiliki nilai penyerapan air pada mortar kurang dari 20% sesuai dengan syarat SNI 15-2094-2000 tentang penyerapan air mortar.

2.4 Posisi Penelitian

Perbedaan dalam penelitian yang dilakukan sekarang dengan penelitian terdahulu memiliki tema yang sama. hanya saja penelitian ini mengarah ke limbah karbit yang digunakan sebagai campuran aspal panas *Hot Rolled Sheet*. dan sebagian peneliti yang terdahulu menggunakan abu ampas tebu sebagai bahan campuran aspal panas.

Adapun penjelasan mengenai perbedaan dan persamaan antara peneliti terdahulu dan sekarang adalah sebagai Berikut :

2.4.1 Perbedaan peneliti terdahulu dan sekarang

1. Kebanyakan peneliti terdahulu menggunakan campuran aspal panas jenis *AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course)* sedangkan peneliti sekarang

menggunakan campuran aspal panas jenis Lataston *HRS (Hot Rolled Sheet)*.

2. Peneliti terdahulu menggunakan limbah karbit sebagai bahan pengisi (*Filler*) pengganti agregat halus abu batu. sedangkan peneliti sekarang menggunakan bahan limbah karbit sebagai alternatif pengganti *Filler* (Semen).

2.4.2 Persamaan peneliti terdahulu dan sekarang

1. Peneliti terdahulu dan sekarang yaitu memiliki kesamaan menggunakan Aspal *HRS-BC*.
2. Peneliti terdahulu dan sekarang memiliki kesamaan yaitu dengan menggunakan limbah karbit sebagai campuran aspal panas
3. Peneliti terdahulu dan sekarang persamaanya adalah melakukan pengujian dengan alat *marshall test* dan mencari nilai *stabilitas*, nilai *VMA*, nilai *VIM*, nilai *VFA*, nilai *Flow* , dan nilai *Marshall Quotient*.