

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1 Perkerasan Jalan

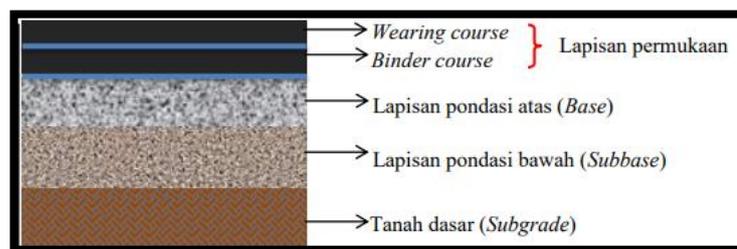
Perkerasan jalan merupakan lapisan yang terletak di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Fungsinya adalah untuk menanggung beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke tanah dasar, sehingga beban yang diterima oleh tanah dasar tidak melebihi kapasitas dukung yang diizinkan. (Sukirman, 1992).

Ada tiga macam konstruksi perkerasan jalan berdasarkan bahan pengikatnya menurut Sukirman, (1992). Tiga macam perkerasan itu adalah:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavements*), yaitu perkerasan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavements*), yaitu perkerasan dengan menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat pelat beton dengan atau tanpa tulangan, diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis fondasi bawah.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavements*), yaitu kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang dapat berupa perkerasan kaku di atas perkerasan lentur ataupun sebaliknya.

II.1.1 Lapisan Perkerasan Lentur

Lapisan perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan jalan yang menggunakan bahan aspal sebagai material pengikat agregat. Pada perkerasan lentur lapisan perkerasan menjadi empat bagian seperti berikut:



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Lentur

Sumber: Gb Ramadhan (2014)

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Perkerasan aspal porus memiliki lapisan permukaan yang terdiri dari agregat dengan susunan yang seragam dan terdapat rongga di antara agregat. Rongga ini mengisi sekitar 40% dari volume lapisan dasar. Aspal yang digunakan memiliki nilai penetrasi antara 50/60 hingga 85/100, dengan proporsi aspal yang digunakan berkisar antara 5,5% hingga 6% dari total berat perkerasan. Lapisan permukaan merupakan lapisan yang bersentuhan langsung dengan roda kendaraan. Fungsinya adalah untuk menahan beban dari kendaraan dan mendistribusikannya ke lapisan di bawahnya, sehingga beban tersebut dapat diterima dan ditanggung oleh lapisan-lapisan lainnya. Fungsi dari lapisan permukaan ini sebagai berikut:

- a) Menerima beban secara langsung.
- b) Lapisan yang memberikan gesekan terhadap roda kendaraan sehingga terjadi traksi antara permukaan jalan dan roda kendaraan.
- c) Menahan beban kendaraan serta menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya sehingga beban – beban tersebut dapat dipikul oleh lapisan yang lainnya.

2. Lapisan Pondasi (*Base Course*)

Lapisan pondasi adalah lapisan yang terletak di bawah lapisan permukaan dan di atas tanah dasar. Fungsinya adalah untuk menahan beban berat, sehingga membutuhkan material penyusun yang kuat. Pada perkerasan aspal porus, lapisan pondasi terdiri dari batu pecah dengan gradasi seragam dan memiliki rongga, namun dengan pengurangan agregat halus. Lapisan ini dirancang tidak hanya untuk menahan beban kendaraan, tetapi juga untuk memungkinkan air mengalir dan meresap ke dalam tanah.

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan pondasi bawah merupakan lapisan yang terletak diatas lapisan tanah dasar dan berada dibawah lapisan pondasi.

4. Tanah Dasar (*Base Course*)

Tanah dasar harus memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi dan tidak bersifat ekspansif, sehingga kelembapan tanah tetap terjaga meskipun dalam kondisi basah. Tanah dasar juga harus mampu mengalirkan air dengan cepat agar tetap dapat menahan beban kendaraan yang melintas.

II.2 Aspal

Aspal merupakan material hidrokarbon yang memiliki sifat saling mengikat (adhesi) dan saling mempertahankan ikatannya (kohesi) berwarna hitam kecokelatan, dan viscoelastis. Menurut Sukirman, (2007), Aspal didefinisikan sebagai bahan perekat berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung bitumen sebagai unsur utamanya. Aspal dapat ditemukan di alam atau sebagai residu dari proses pengolahan minyak bumi. Pada suhu ruang, aspal berbentuk padat hingga agak padat dan bersifat termoplastik, artinya aspal akan mencair saat dipanaskan hingga suhu tertentu dan mengeras kembali saat suhu turun. Bersama agregat, aspal digunakan sebagai bahan campuran dalam perkerasan jalan. Jumlah aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

Menurut Sukirman, (1992), aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal dengan bahan pengikat itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Berdasarkan cara memperolehnya, aspal dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu aspal alam dan aspal buatan. Berikut merupakan penjelasan mengenai aspal alam dan aspal buatan:

II.2.1 Aspal Alam

Aspal alam merupakan jenis aspal yang diperoleh secara alami dari hasil endapan geologis. Aspal ini terbentuk dari proses alami dekomposisi bahan alami yang terjebak dalam batuan selama jutaan tahun. Ada beberapa jenis aspal alam yang dikenal, diantaranya adalah:

1. Aspal Danau

Aspal danau ditemukan pada danau-danau aspal seperti pada danau Pitch di Trinidad. Aspal ini terkumpul di permukaan danau dan dapat diambil dari sana.

2. Aspal Tambang

Aspal tambang dapat ditemukan dalam bentuk endapan pada batuan yang disebut asbuton seperti yang terdapat di pulau buton, Indonesia. Aspal ini diekstraksi dengan menambang batuan yang mengandung aspal untuk kemudian dipisahkan dari batuan tersebut.



Gambar 2.2 Asbuton

Sumber: Muhammad Krami (2017)

II.2.2 Aspal Buatan

Aspal buatan merupakan jenis aspal yang diperoleh dari sisa residu penyulingan minyak bumi yang telah melalui proses pengolahan di kilang minyak. Ada 3 jenis aspal buatan yang biasa digunakan di Indonesia diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Aspal Keras

Aspal keras memiliki tingkat kekerasan yang tinggi berdasarkan hasil pengujian penetrasi. Aspal keras biasa digunakan pada campuran perkerasan jalan yang memiliki beban lalu lintas yang tinggi.

2. Aspal cair

Aspal cair merupakan aspal keras yang dicampur dengan pelarut seperti minyak tanah untuk mengurangi viskositasnya sehingga akan lebih mudah untuk diaplikasikan pada suhu rendah.

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi merupakan campuran aspal, air dan tambahan bahan pengemulsi sehingga aspal dapat diaplikasikan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis aspal yang lain.

II.2.3 Pengujian Pada Aspal

Aspal merupakan suatu material yang sensitif terhadap perubahan suhu karena memiliki sifat termoplastis yaitu akan berubah menjadi lunak atau cair pada suhu yang tinggi dan akan berubah menjadi kaku atau keras pada suhu yang rendah. Berikut ini merupakan penjelasan pengujian aspal, diantaranya adalah:

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal PEN 60/70
1	Penetrasi 25° (dmm)	SNI 06-2456-2011	60-70
2	Viskositas (cSt)	SNI 06-6441-1991	> 300
3	Titik lembek, °C	SNI-06-2434-2011	≥ 48
4	Indeks penetrasi	-	≥ -1,0
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI-06-2432-2011	≥ 100
6	Titik nyala (°C)	SNI-06-2433-2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam toluene (%)	RSNI M-04-2004	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
9	Stabilitas penyimpanan (°C)	ASTMD 5976 part 6.1	-

Sumber: Spesifikasi bina marga Rev. 2 (2018)

1. Pengujian Penetrasi

Pengujian Penetrasi dilakukan untuk mengetahui nilai PEN (penetrasi) yang menggambarkan kekerasan bahan bitumen pada suhu standar 25°C yang diambil dari pengukuran kedalaman penetrasi jarum standar dengan beban 50gram/100gram dalam rentan waktu 5 detik. Menurut AASHTO nilai PEN dapat didefinisikan sebagai PEN 40-50 untuk bahan bitumen yang paling keras dan PEN 200-300 untuk bahan bitumen yang paling lunak.



Gambar 2.3 Alat Pengujian Penetrasi

Sumber: Modul-Praktikum-BPJ-UMY (2021)

2. Pengujian Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk mengetahui titik lembek aspal ketika mendapatkan perubahan suhu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bola baja yang ditaruh di atas cincin yang telah diisi dengan aspal, kemudian dilakukan penambahan temperatur secara bertahap sampai bola baja yang berada di atas cincin yang telah diisi aspal tersebut jatuh sehingga kita dapat mengetahui titik lembek aspal tersebut.



Gambar 2.4 Pengujian Titik Lembek Aspal

Sumber: Ahmat Fatha Abdillah, Dkk (2018)

3. Pengujian Berat Jenis Bitumen

Pengujian berat jenis bitumen bertujuan untuk mengukur berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer serta berdasarkan berat diudara dengan berat di dalam air. Berat jenis bitumen atau tar adalah perbandingan antara berat bitumen atau tar terhadap berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, yaitu dilakukan dengan cara menggantikan berat air dengan berat bitumen dan/atau tar dalam wadah yang sama. Berat jenis aspal sangat tergantung pada nilai penetrasi dan suhu dari bitumen itu sendiri.



Gambar 2.5 Pengujian Berat Jenis Bitumen

Sumber: Modul Praktikum Aspal Untirta (2022)

4. Pemeriksaan Viskositas Bahan-bahan Bitumen

Pemeriksaan viskositas pada bahan bitumen bertujuan untuk menentukan suhu ideal dalam proses pencampuran dan pemadatan aspal. Tingkat material serta suhu aspal mempengaruhi kekentalan aspal. Hubungan antara suhu dan kekentalan ini penting dalam perencanaan dan penggunaan material bitumen. Semakin tinggi suhu, semakin rendah kekentalan aspal, dan sebaliknya.



Gambar 2.6 Saybolt Viscometer

Sumber: Yp Nuradi2 (2021)

5. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-bahan Bitumen

Sifat reologis daktilitas digunakan untuk menilai ketahanan aspal terhadap retak saat digunakan sebagai lapisan perkerasan. Aspal dengan daktilitas rendah cenderung mengalami retak selama penggunaan karena lapisan perkerasan mengalami fluktuasi suhu yang signifikan.



Gambar 2.7 Pengujian Daktilitas

Sumber: Yp Nuradi (2021)

6. Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal berguna untuk mengetahui temperatur di mana aspal mulai menyala, dan temperatur dimana aspal mulai terbakar. Aspal memiliki titik nyala dan titik bakar pada suhu tertentu. Menurut SNI 06-2433-1991 halaman 1, titik nyala adalah suhu di mana aspal menunjukkan nyala singkat selama kurang dari 5 detik pada permukaannya, sementara titik bakar adalah suhu di mana aspal menyala setidaknya selama 5 detik pada permukaannya. Pengujian dilakukan dengan mencetak sampel aspal ke dalam cawan *Cleveland* yang terbuat dari kuningan. Cawan tersebut diletakkan di atas pelat pemanas, dan termometer digunakan untuk mengukur suhu. Suhu di mana aspal menunjukkan nyala singkat disebut titik nyala, sedangkan suhu di mana aspal mulai menyala selama minimal 5 detik disebut titik bakar. (Sukirman, 2003:42).



Gambar 2.8 Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar

Sumber: Galeh Nur Indriatn (2019)

II.3 Agregat

Agregat adalah kumpulan butir-butir batu pecah atau mineral lainnya, baik yang berasal dari sumber alam maupun hasil pengolahan, yang digunakan sebagai bahan utama dalam penyusunan jalan. Agregat dengan bentuk pecah memiliki gaya gesek tinggi dan kemampuan untuk saling mengunci, yang meningkatkan kestabilan konstruksi lapis keras. Untuk mencapai stabilitas yang tinggi, diperlukan agar minimal 40% dari agregat yang tertahan pada saringan no.4 memiliki setidaknya satu bidang pecah. (Krebs and Walker, 1971).

Menurut Sukirman, (2007), Agregat adalah komponen utama dalam struktur perkerasan jalan, menyumbang 90-95% berdasarkan berat, atau 75-85% berdasarkan volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat serta hasil campuran agregat dengan bahan lainnya.

Menurut ukuran butiran, agregat dapat dibagi menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus.

II.3.1 Agregat Kasar

Menurut SNI-03-2847-2002, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Ketentuan mengenai agregat kasar dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Abrasi	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%
Berat jenis	SNI 03-1969-2008	Min. 2,5%
Penyerapan	SNI 03-1969-2008	Maks. 10%
Lolos ayakan No. 200	Sni 03-4142-1996	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Bina Marga Rev 2 (2018)

II.3.2 Agregat Halus

Menurut SNI-03-2847-2002, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Ketentuan mengenai agregat halus dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Berat jenis	SNI 03-1970-2008	Min. 2,5
Penyerapan	SNI 03-1970-2008	Maks. 3%
Lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Bina Marga Rev 2 (2018)

II.3.3 Bahan pengisi (*filler*)

Menurut SNI 03-6723-2002 menetapkan persyaratan teknis untuk bahan pengisi tambahan yang digunakan pada campuran beraspal. Bahan pengisi harus lolos ukuran saringan No. 30 dan 65% lolos No. 200, serta memenuhi batasan gradasi dan indeks *plastisitas* tertentu.

II.3.4 Pengujian Pada Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan utama dalam perkerasan jalan, kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh bahan penyusunnya sehingga diperlukan pengujian terhadap bahan penyusunnya. Berikut ini merupakan penjelasan pengujian aspal, diantaranya adalah:

1. Analisis saringan agregat

Untuk menghasilkan campuran aspal yang optimal, langkah utama yang harus dilakukan adalah menentukan gradasi agregat yang akan digunakan. Gradasi mengacu pada susunan ukuran butiran agregat.



Gambar 2.9 Analisis Saringan Agregat

Sumber: Iqlauzal Zuhail Zidane (2021)

2. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

Pengukuran berat jenis agregat penting untuk merencanakan campuran agregat dan aspal, karena campuran ini didasarkan pada perbandingan berat yang lebih akurat daripada perbandingan volume. Pengukuran ini juga digunakan untuk menentukan jumlah pori dalam agregat. Agregat dengan berat jenis rendah memiliki volume yang lebih besar, sehingga memerlukan lebih banyak aspal untuk berat yang sama.

3. Pengujian *sand equivalent*

Pengujian *sand equivalent* merupakan salah satu metode laboratorium yang digunakan untuk menentukan proporsi material halus yang ada dalam suatu campuran agregat. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengukur jumlah material halus yang ada di dalam agregat yang dapat mempengaruhi kualitas campuran.

4. Pengujian keausan agregat

Durabilitas atau ketahanan terhadap kerusakan mempengaruhi kebutuhan jumlah agregat. Bahkan agregat dengan kekuatan standar dapat mengalami kerusakan saat disimpan di *stockpile* atau selama penggunaannya di jalan. Sebenarnya, ikatan antara butir-butir partikel bisa menjadi kuat atau lemah, namun seringkali menjadi lemah secara bertahap akibat proses seperti perendaman air, cuaca, atau pembekuan.

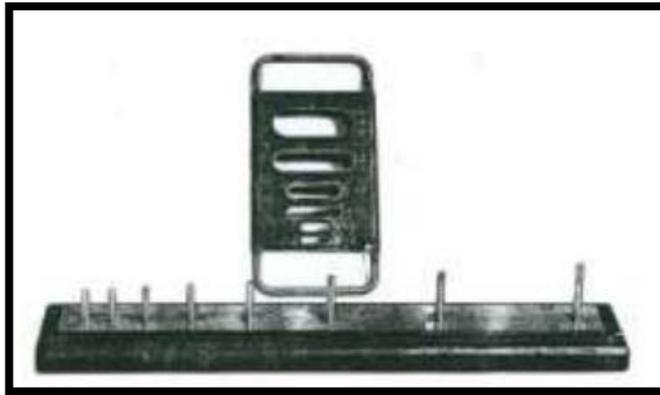


Gambar 2.10 Pengujian Keausan Agregat

Sumber: Iqlauzal Zuhail Zidane (2021)

5. Indeks kepipihan dan kelonjongan.

Pada batuan alam maupun hasil crushing plant terdapat fraksi-fraksi agregat yang memiliki berbagai macam bentuk. *British Standard Institution* (BSI), (1975) membagi bentuk-bentuk agregat dalam enam kategori, yaitu bulat (*rounded*), tidak beraturan (*irregular*), bersudut (*angular*), pipih (*flaky*), lonjong (*elongated*), pipih dan lonjong (*flaky and elongated*). Suatu agregat dikatakan pipih, lonjong, pipih dan lonjong, atau berdimensi seragam ditentukan berdasarkan perbandingan antara diameter terpendek, terpanjang dan rata-ratanya.



Gambar 2.11 Indeks Kepipihan Dan Kelonjongan
Sumber: Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.5 (2016)

II.4 Aluminium Oksida

Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari *aluminium* dan *oksigen*, dengan nama mineralnya adalah *Alumina*. Aluminium oksida adalah senyawa alami yang sering digunakan dalam berbagai industri, termasuk industri abrasif, keramik, kaca, dan logam. Selain itu, aluminium oksida dikenal karena sifatnya yang berpori, sehingga juga dimanfaatkan sebagai *adsorben*. Aluminium oksida bersifat *inert* secara kimia, berwarna putih, dan relatif tidak beracun. Sifat lain dari alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah memiliki titik lebur yang tinggi, yakni mencapai $2053^{\circ}\text{C} - 2072^{\circ}\text{C}$. Dalam industri, aluminium oksida yang bersifat *inert* secara kimia merupakan bahan pengisi yang ideal untuk batu bata, plastik, dan peralatan tanah liat berat. Selain itu, ia sering digunakan sebagai komponen abrasif dalam ampelas.



Gambar 2.12 Aluminium Oksida
Sumber: hanggayu aly sabtiadi (2020)

II.5 Aspal porus

Aspal porus merupakan campuran perkerasan yang di desain memiliki kandungan rongga yang lebih besar dibandingkan dengan jenis perkerasan yang lainnya. Sifat porus diperoleh karena campuran ini menggunakan agregat halus yang lebih sedikit dibanding campuran biasa sehingga memiliki kandungan rongga atau pori lebih besar yang diharapkan memiliki kekesatan yang tinggi dan berpori, kandungan pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran. Penyerapan air pada permukaan perkerasan aspal porus akan lebih cepat dibandingkan jenis perkerasan yang lainnya karena memiliki kandungan pori yang lebih tinggi. Pori-pori yang terdapat pada campuran aspal porus memungkinkan air untuk menyerap dan mengalir kebagian badan jalan dan/atau kemudian masuk ke dalam saluran samping. Karena adanya pori-pori ini perkerasan aspal porus dapat menyerap air dengan lebih baik dan mengurangi genangan air di permukaan jalan.

Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar, sementara agregat halus dan *filler* ditambahkan dalam jumlah yang cukup agar tidak mengganggu penguncian antar agregat kasar. Salah satu metode untuk menentukan gradasi agregat adalah dengan membuat campuran yang memiliki densitas maksimum atau porositas minimum.(Djumari & Sarwono Djoko, 2009).

Campuran aspal porus ini sangat baik dalam meningkatkan keselamatan lalu lintas terutama pada kondisi hujan, karena dapat mengurangi *aquaplaning* dan memiliki *skid resistance* yang baik, sehingga roda tidak mudah slip pada saat kecepatan tinggi, serta dapat mengurangi kebisingan dan kesilauan pada malam hari menurut Widyastuti dkk, 2013 dalam (Verani Rouly Sihombing, 2020).



Gambar 2.13 Aspal Porus

Sumber: Verani Rouly Sihombing (2022)

II.5.1 Kelebihan dan Kekurangan Aspal porous

Keuntungan penggunaan Asphalt Porous antara lain dapat mengurangi *aquaplaning* apabila permukaan aspal basah karena tingginya kadar pori dalam campuran aspal porous. Permukaan aspal porous sangat kasar dan kesat sehingga nilai *skid resistance* (tahanan geser) tinggi yang dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas berupa slipnya ban kendaraan di atas permukaan jalan. Aspal porous mampu meresapkan air pada arah vertikal dan mengalirkannya ke saluran samping jalan sehingga air tidak mempengaruhi lapisan *subbase*. Dapat meredam kebisingan kendaraan, di mana kebisingan tersebut diredam oleh pori-pori yang ada dalam aspal porous (Jauhari, 2013).

Terdapat beberapa keunggulan dari aspal porous, diantaranya adalah:

1. Menghilangkan genangan air.
2. Ketahanan terhadap selip yang lebih besar.
3. Meningkatkan penglihatan dikarenakan pengurangan cipratan dan siraman.
4. Pengaliran air yang cepat dari permukaan perkerasan dimana mengurangi waktu basah dari permukaan.
5. Mengurangi tingkat kebisingan bagi pengguna dan penduduk sekitar.
6. Mengurangi pemantulan cahaya, baik pada siang hari maupun malam hari.
(Falderika, 2017).

Kekurangan yang dimiliki oleh campuran aspal porous, diantaranya adalah:

1. Stabilitas yang rendah karena komposisi agregat kasar yang lebih banyak sehingga menjadi lebih kaku.
2. Membutuhkan biaya yang lebih mahal karena aspal porous membutuhkan agregat yang memiliki daya tahan tinggi.
3. Peluang terjadinya pelapukan pada perkerasan sangat tinggi.
(Falderika, 2017)

II.6 Gradasi

Gradasi adalah pembagian variasi ukuran butiran agregat yang diperoleh melalui pengujian analisis saringan menggunakan satu set saringan, dengan hasil yang dinyatakan dalam persentase lolos atau tertahan berdasarkan berat total agregat. Gradasi agregat dapat memengaruhi volume rongga udara dalam campuran perkerasan serta mempengaruhi *workabilitas* dan stabilitas campuran.

Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi agregat yang memiliki ukuran hampir seragam disebut sebagai gradasi seragam. Gradasi seragam juga dikenal sebagai gradasi terbuka atau *open graded*, karena mengandung lebih sedikit agregat halus dan memiliki lebih banyak rongga udara di antara butiran agregat.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat yang mencakup berbagai ukuran dari agregat kasar hingga agregat halus, sehingga sering disebut sebagai gradasi menerus atau gradasi baik. Campuran dengan gradasi ini biasanya memiliki stabilitas tinggi, cukup tahan terhadap air, dan memiliki berat isi yang lebih besar.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi yang tidak ideal karena memiliki satu fraksi ukuran yang hilang atau sangat sedikit, sehingga rentang ukuran agregatnya tidak lengkap. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang kualitasnya berada di antara kedua jenis gradasi lainnya.

II.6.1 Gradasi Aspal Porus

Jenis gradasi yang diterapkan pada perkerasan aspal porus adalah gradasi terbuka, yang mengandung lebih sedikit agregat halus, sehingga menghasilkan pori atau rongga udara yang lebih besar. Berikut merupakan gradasi dan syarat campuran perkerasan aspal porus pada penelitian ini yang menggunakan spesifikasi Australia.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Aspal Porus Spesifikasi Australia

Ukuran saringan (mm)	Porus Ukuran (Inch)	Berat yang lolos (%)	Lolos (%)	Tertahan (%)
19.000	3/4"	100	100	0
9.530	3/8"	85-100	92.5	7.5
4.760	No 4	20-45	32.5	60
2.380	No 8	10-20	15	17.5
1.190	No 16	6-14	10	5
0.595	No 30	5-10	7.5	2.5
0.297	No 50	4-8	6	1.5
0.149	No 100	3-7	5	1
0.074	No 200	2-5	3.5	1.5
PAN	-	0	0	3.5
Total				100

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association (2004)

Tabel 2.5 Syarat Campuran Aspal Porus Spesifikasi Australia

No.	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3
3	Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM%)	18-25
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
5	Kelelehan <i>Marshall</i> (mm)	2-6
6	Kekakuan <i>Marshall</i> (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association (2004)

II.7 Kinerja Perkerasan Jalan

Kinerja perkerasan jalan merujuk pada kemampuannya untuk melayani pengguna jalan selama periode perencanaan tertentu. Penurunan kinerja perkerasan ditandai dengan kerusakan yang mengganggu fungsi jalan dalam memberikan layanan kepada pengendara. Secara umum, kerusakan jalan dapat disebabkan oleh genangan air di permukaan, frekuensi dan beban kendaraan yang melebihi kapasitas jalan,

serta pengawasan yang kurang memadai dan pelaksanaan yang tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.(Bachtiar & Nurmeyliandari, 2019). Untuk memperlambat penurunan kinerja jalan, pemeliharaan jalan secara rutin dan berkelanjutan perlu dilakukan agar jalan tetap mempertahankan tingkat pelayanan yang baik.(Sutriono & Budimanto, 2012) Kinerja perkerasan terbagi menjadi dua, yaitu kinerja fungsional dan kinerja struktural.

II.7.1 Kinerja Fungsional

Kinerja fungsional adalah kemampuan suatu jalan untuk memenuhi fungsinya dalam memberikan layanan transportasi yang aman dan nyaman bagi pengguna jalan. Kinerja perkerasan jalan menyangkut kerataan, kekesatan permukaan perkerasa.(Sasuwuk dkk., 2019). Kinerja fungsional pada perkerasan aspal porus dapat diketahui dengan melakukan pengujian permeabilitas. Perkerasan aspal porus harus memiliki kemampuan untuk menyerap air pada permukaan jalan dengan baik agar tidak terjadi genangan pada permukaan jalan dan memberikan keselamatan yang lebih bagi pengguna jalan.

II.7.2 Kinerja Struktural

Kinerja struktural pada perkerasan jalan merupakan ukuran kemampuan struktural lapisan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas dan mendistribusikan beban tanpa mengalami deformasi atau kerusakan yang dapat mempengaruhi fungsional jalan. Kondisi struktural menyangkut kekuatan atau daya dukung perkerasan, sedangkan dalam melayani beban dan volume lalu lintas digunakan untuk membantu dalam penentuan penanganan dalam kegiatan penyelenggaraan jalan (Sasuwuk dkk., 2019)

Kinerja fungsional perkerasan jalan berkaitan mencakup banyak aspek seperti kualitas permukaan jalan, daya tahan terhadap berbagai macam kondisi cuaca, dan lebih berfokus pada kenyamanan seta keselamatan pengguna jalan. Sedangkan kinerja struktural perkerasan jalan berkaitan erat dengan kekuatan dan daya tahan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan atau deformasi yang signifikan.

II.8 Pengujian Marshall

Pengujian *marshall* adalah salah satu metode yang dapat di gunakan untuk menentukan kekuatan aspal. Pengujian *marshall* memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari campuran aspal. Pengujian *marshall* bertujuan untuk menguji stabilitas dan kelelahan (*flow*) dari campuran aspal, serta menganalisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam pengujian *marshall* benda uji dibuat berdasarkan gradasi agregat campuran yang sesuai dengan spesifikasi campuran yang diinginkan.

Alat yang digunakan dalam pengujian *marshall* adalah alat tekan yang lengkap dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. Prosedur pengujian *marshall* meliputi persiapan bahan, pemadatan, pengujian stabilitas, dan pengukuran kelelahan. Benda uji *marshall* berbentuk silinder dengan diameter 4 inci (10.2 cm) dan tinggi 2.5 inci (6.35 cm).



Gambar 2.14 Alat Pengujian Marshall

Sumber: Laboratorium Aspal Unikom (2024)

Adapun nilai yang akan didapatkan setelah melaksanakan pengujian *marshall* adalah sebagai berikut:

- *Void in mixture* (VIM) : Volume rongga udara dalam campuran
- *Void in mineral agregate* (VMA) : Volume rongga udara di dalam agregat
- *Void filled with asphalt* (VFA) : Volume rongga udara yang terisi oleh aspal

- *Flow* : Besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang bekerja di atasnya.
- *Marshall quotient (MQ)* : Adalah hasil bagi antara MS (*Stabilitas Marshall*) dengan Pelelehan (*flow*)
- *Stabilitas* : Stabilitas merupakan beban yang dapat ditahan campuran perkerasan.

II.9 Pengujian Cantabro

Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengetahui kehilangan berat suatu benda uji setelah dilakukan Uji Abrasi *Los Angeles*. Benda uji yang sudah dipadatkan, dengan jumlah tumbukan masing-masing 50 di kedua sisinya, didiamkan selama 48 jam pada temperatur ruang dan minimal 6 jam sebelum pengujian, temperatur harus dijaga agar berada pada temperatur ruang. Pengujian dilakukan dengan memasukkan benda uji pada mesin *Los Angeles* tanpa bola baja, kemudian menjalankan mesin dengan kecepatan (30-33) rpm hingga 300 putaran. Berat benda uji ditimbang pada kondisi sebelum dan sesudah diuji, untuk mendapatkan persentase kehilangan berat, yang dihitung dengan cara:

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (\text{II.1})$$

Dimana:

M_o = Berat sebelum diuji (gram).

M_i = Berat setelah diuji (gram).

L = Kehilangan berat (%).

II.10 Pengujian Permeabilitas

Permeabilitas pada aspal merujuk pada kemampuan lapisan perkerasan untuk meresapkan aliran air, sehingga permukaan tetap kering. Material dengan ruang kosong di antara partikel-partikelnya disebut poros, dan jika ruang kosong tersebut saling terhubung, material tersebut akan memiliki sifat *permeabilitas*. Material dengan ruang kosong yang lebih besar umumnya memiliki angka pori yang lebih tinggi. (Wijayati, 2016).

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengukur kecepatan aliran air secara vertikal melalui benda uji *marshall* pada campuran aspal porus dan memastikan bahwa campuran aspal porus memiliki kapasitas yang cukup untuk menyerap dan mengalirkan air. Nilai permeabilitas dihitung dengan membandingkan ketinggian air yang melewati benda uji dengan waktu yang diperlukan untuk aliran tersebut.



Gambar 2.15 Pengujian Permeabilitas

Sumber: Verani Rouly Sihombing (2022)

$$K = 2,3 \frac{aL}{At} \times \text{Log} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (\text{II.2})$$

Dimana:

K : Koefisien permeabilitas air (cm/dt).

L : Tebal spesimen (cm).

A : Luas potongan melintang tabung (cm²).

T : Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h₁ ke h₂ (s).

h₁ : Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm).

h₂ : Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm).

Berdasarkan koefisien permeabilitas campuran aspal dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat permeabilitasnya. Mullen (1967) menetapkan pembagian campuran aspal berdasarkan permeabilitas seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2.6 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas

K (cm/det)	Permeabilitas
1×10^{-8}	Kedap
1×10^{-6}	Hampir kedap
1×10^{-4}	Drainase jelek
100×10^{-4}	Drainase sedang
1000×10^{-4}	Drainase baik

Sumber: Mullen (1976) dalam wijayati (2016)

II.11 Pengujian Aspal Drain Down

Roberts (1996) menjelaskan bahwa *drain down* adalah kondisi di mana agregat dan aspal terpisah dari campuran secara keseluruhan dan mengalir ke bagian bawah campuran tersebut (proses pengaliran aspal). Uji *drain down* ini digunakan untuk menentukan jumlah *drain down* campuran beraspal yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan pada campuran dengan kandungan agregat kasar yang tinggi (rongga udara campuran lebih besar, sehingga *drain down* lebih besar). Uji yang dikembangkan oleh AASHTO, yaitu AASHTO T305, merupakan antisipasi terhadap kondisi yang mungkin terjadi saat proses produksi, penyimpanan, pengangkutan, dan penghamparan campuran. Pengujian ini bertujuan untuk menilai potensi *drain down* pada campuran beraspal baik selama tahap desain campuran maupun produksi di lapangan. Uji *drain down* dilakukan pada campuran dengan kadar aspal optimal untuk memastikan bahwa pengaliran aspal yang terjadi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. (Ahmat Fatha Abdillah, dkk 2018).



Gambar 2.16 Keranjang Drain down

Sumber: Ahmat Fatha Abdillah, Dkk (2018)

Nilai *drain down* campuran dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Drainage} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{II.3})$$

Dimana:

A = Berat wadah setelah pengujian (gram);

B = Berat awal wadah sebelum digunakan (gram); dan

C = Berat total sampel (gram)

II.12 Studi Terdahulu

Studi terdahulu merupakan beberapa hasil penelitian yang digunakan untuk mempelajari lebih lanjut tentang topik yang digunakan pada penelitian ini. Berikut ini merupakan beberapa rangkuman dari studi yang digunakan pada penelitian ini diantaranya:

1. Characterization of the performance of aluminum oxide nanoparticles modified asphalt binder

Penelitian ini menyelidiki sifat fisik dan *reologi* bahan pengikat aspal dimodifikasi oleh nano aluminium oksida. Aspal beton yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai penetrasi 60/70. Campuran aspal dipanaskan pada suhu 170°C, jumlah tambahan nano aluminium oksida yang dicampurkan pada campuran aspal sebesar 3%, 5%, dan 7% kemudian dicampurkan dengan kecepatan 5000 Rpm selama 90 menit hingga campuran aspal dengan bahan tambahan nano aluminium oksida dapat tercampur dengan sempurna. Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian penetrasi, titik lembek dan daktilitas, viskositas dan *dynamic shear rheometer* (DSR). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa kekerasan campuran aspal semakin meningkat seiring dengan penambahan nano aluminium oksida. Besaran bahan tambahan yang paling optimal adalah sebesar 5%.

2. *Evaluating the Performance of Aluminum Oxide Nanoparticle-Modified Asphalt Binder and Modelling the Viscoelastic Properties by Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines*

Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh nano aluminium oksida pada semen beton (AC) dengan penetrasi 60/70 yang diselidiki dalam hal karakteristik fisik dan *reologi* dengan menggunakan prosedur pengujian *Superpave*. Besaran jumlah pengaruh nano aluminium oksida yang digunakan adalah sebanyak 3%, 5%, dan 7%. Penambahan nano aluminium oksida pada campuran aspal dilakukan pada suhu 150°C. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa penambahan nano aluminium oksida pada campuran aspal dapat meningkatkan kekerasan, dan dapat mengurangi efek *rutting* pada tingkat suhu yang tinggi dengan besaran penambahan nano aluminium oksida paling optimal sebesar 7%.

3. *Evaluation of elevated temperature properties of asphalt cement modified with aluminum oxide and calcium carbonate nanoparticles*

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi dengan penambahan material kalsium karbonat (CaCO₃) dan nano aluminium oksida pada campuran aspal beton. Dengan konsentrasi kalsium karbonat dan nano aluminium oksida sebesar 3%, 5%, dan 7%. Peningkatan kandungan kalsium karbonat dan nano aluminium oksida dapat memberikan pengaruh yang signifikan mengenai karakteristik aspal beton, Viskositas aspal beton yang termodifikasi mengalami peningkatan, masing-masing menjadi 90 dan 108% dibandingkan dengan aspal beton yang tidak diberi bahan tambahan. Evaluasi sifat *reologi* aspal beton menunjukkan bahwa kekakuan sampel yang dimodifikasi dapat meningkat seiring dengan peningkatan tambahan dengan konsentrasi hingga 5% yang menunjukkan ketahanan yang lebih baik untuk efek *rutting*. Peningkatan yang terjadi hingga 388,89% untuk nano aluminium oksida dan 74,07% untuk kalsium karbonat. Akibatnya, penggunaan nanopartikel kalsium karbonat dan nano aluminium oksida dapat dianggap sebagai bahan alternatif yang tepat untuk memodifikasi campuran aspal semen.

4. Performance and overall evaluation of nano-alumina-modified asphalt mixture

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi campuran aspal dengan menggunakan nano aluminium oksida dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Hasil dari pengujian didapatkan bahwa modifikasi perkerasan aspal dengan menggunakan nano aluminium oksida dapat memperbaiki sifat campuran aspal, kecuali sifat suhu rendah. Jumlah besaran penambahan nano aluminium oksida pada perkerasan aspal yang paling optimal adalah sebesar 9%. Nano aluminium oksida dapat digunakan untuk memodifikasi material perkerasan aspal di daerah bersuhu tinggi dan hujan. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan nano aluminium oksida dapat meningkatkan kinerja campuran aspal pada suhu tinggi, stabilitas air, dan kinerja kelelahan campuran aspal. Secara khusus, peningkatan kinerja pada suhu tinggi sangat luar biasa. Nano aluminium oksida dapat meningkatkan stabilitas dinamis campuran aspal pada suhu 60°C hingga 34,2% dan mengurangi akumulasi regangan permanen hingga 49,5%.

5. Moisture Susceptibility of Nano- Al_2O_3 and SiO_2 Modified Asphalt Mixtures

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja aspal campuran panas (HMA). Dalam penelitian ini, aspal dimodifikasi dengan bahan tambahan nano-partikel silika nano-bubuk (SiO_2 NP) dan aluminium oksida. Bahan nano dicampur dengan aspal dengan kandungan sebesar 0,3% dan 3% dengan nano-silika dan aluminium oksida sebesar 0,5 dan 5% nano-silika dan aluminium oksida berdasarkan berat aspal. Campuran aspal yang telah diberi bahan tambahan kemudian di campurkan dengan kecepatan 3000 Rpm pada suhu 200°C selama 1,5 jam sampai campuran aspal dan bahan tambahan dapat menyatu dengan sempurna. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa nilai viskositas pada aspal dengan campuran SiO_2 3% dan aluminium oksida 5% lebih tinggi dibandingkan dengan aspal tanpa bahan tambahan. Kekuatan kelembaban terbaik diperoleh dengan HMA termodifikasi 0,3% SiO_2 dan 3% aluminium oksida.

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	GAP	
					Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
1	2015	<i>Characterization of the performance of aluminum oxide nanoparticles modified asphalt binder</i>	Pengujian Marshall	<ul style="list-style-type: none"> • Modifikasi menggunakan nano aluminium oksida mampu memperbaiki sifat fisik dan reologi sifat pengikat aspal secara signifikan • kinerja terbaik dari pengikat aspal yang dimodifikasi adalah 5%. 	Bahan tambah yang digunakan adalah nano aluminium oksida sebagai bahan campuran pada aspal.	Bahan tambah yang digunakan adalah aluminium oksida sebagai bahan tambahan pada <i>filler</i> .
2	2022	<i>Evaluating the Performance of Aluminum Oxide Nanoparticle-Modified Asphalt</i>	Pengujian Marshall	<ul style="list-style-type: none"> • Penambahan Nano aluminium oksida dapat meningkatkan kekerasan perkerasan dan mengurangi efek rutting 	Bahan tambah yang digunakan adalah nano aluminium oksida sebagai bahan campuran pada aspal	Bahan tambah yang digunakan adalah aluminium oksida sebagai bahan tambahan pada <i>filler</i>

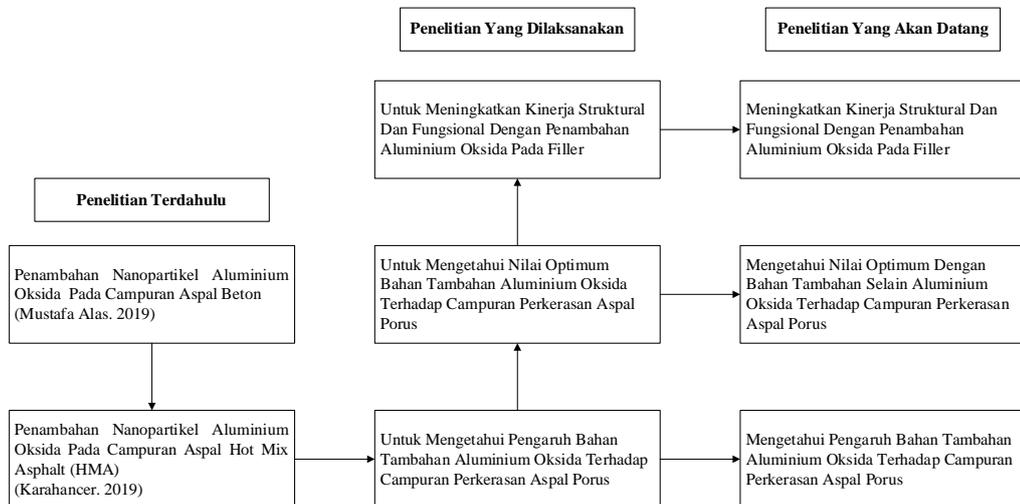
		<i>Binder and Modelling the Viscoelastic Properties by Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines</i>		pada Tingkat suhu yang tinggi, namun efeknya kurang pada suhu rendah karena sifat elastisnya yang rendah.		
3	2017	<i>Evaluation of elevated temperature properties of asphalt cement modified with aluminum oxide and calcium carbonate nanoparticles</i>	Pengujian Marshall	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai optimum pada pengujian ini adalah dengan tambahan nano aluminium oksida sebesar 5%. • Hasil penelitian menunjukkan bahwa aspal yang telah dimodifikasi menunjukkan kekakuan yang lebih besar pada suhu layanan yang tinggi. 	Bahan tambah yang digunakan adalah nano aluminium oksida sebagai bahan campuran pada aspal.	Bahan tambah yang digunakan adalah aluminium oksida sebagai bahan tambahan pada <i>filler</i> .

4	2022	<i>Performance and overall evaluation of nano-alumina-modified asphalt mixture</i>	Pengujian Marshall	<ul style="list-style-type: none"> • Hasilnya menunjukkan bahwa nano aluminium oksida memperbaiki semua sifat campuran aspal, kecuali sifat suhu rendah • kinerja campuran aspal yang telah dimodifikasi adalah paling seimbang bila kandungan nano-alumina sebesar 9% • Nano aluminium oksida dapat digunakan untuk memodifikasi material perkerasan aspal di daerah bersuhu tinggi dan hujan. 	Bahan tambah yang digunakan adalah nano aluminium oksida sebagai bahan campuran pada aspal.	Bahan tambah yang digunakan adalah aluminium oksida sebagai bahan tambahan pada <i>filler</i> .
5	2019	<i>Moisture Susceptibility of Nano-Al_2O_3 and</i>	Pengujian Marshall	<ul style="list-style-type: none"> • Viskositas aspal termodifikasi SiO_2 meningkat sebesar 0,3% 	Bahan tambah yang digunakan adalah aluminium oksida	Bahan tambah yang digunakan adalah aluminium oksida

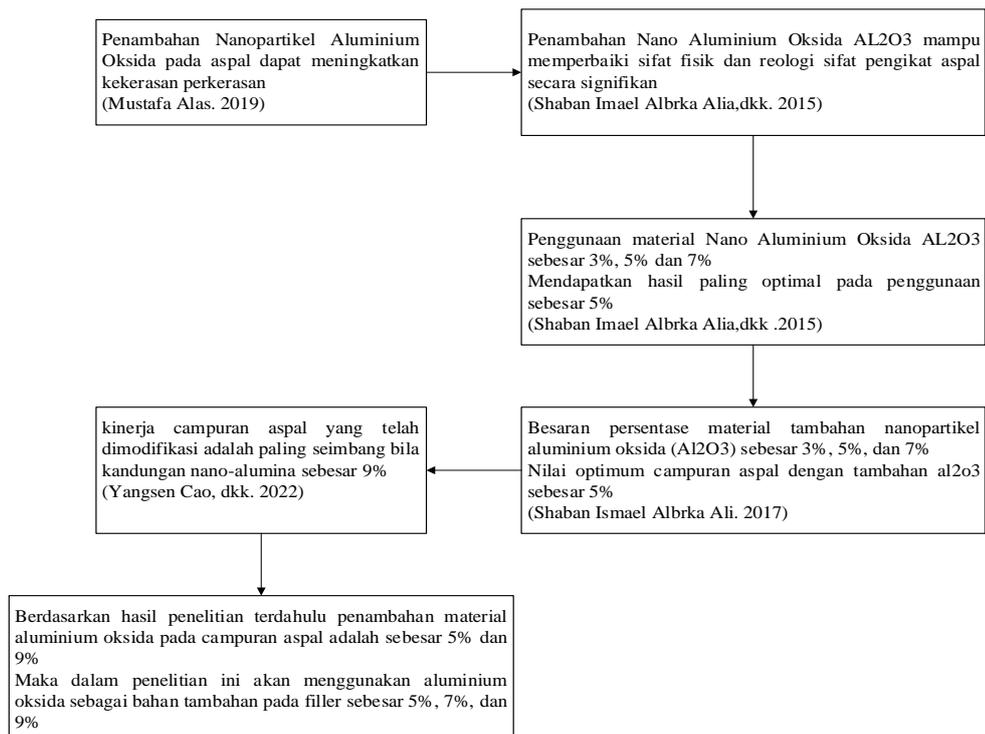
		<i>SiO₂ Modified Asphalt Mixtures</i>		<p>dan dengan aluminium oksida meningkat sebesar 3% memiliki kinerja yang lebih tinggi dibandingkan aspal dasar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nilai IDT dry semakin menurun seiring bertambahnya persentase material nano. • Kekuatan kelembaban terbaik diperoleh dengan HMA termodifikasi 0,3% SiO₂ dan 3% aluminium oksida. 	dan SiO ₂ sebagai bahan campuran pada aspal.	sebagai bahan tambahan pada <i>filler</i> .
--	--	--	--	---	---	---

II.13 Road Map Penelitian

Road map Penelitian merupakan suatu rencana atau strategi yang berfungsi sebagai panduan untuk mengarahkan jalannya penelitian dari awal hingga akhir. Road map penelitian memiliki peran yang cukup penting untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan secara sistematis dan efisien. Adapun road map pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.17 Road map Penelitian



Gambar 2.18 Penelitian Terdahulu