

TUGAS AKHIR

**PENGARUH ABU TERBANG SEBAGAI FILLER TERHADAP
KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC**

***THE EFFECT OF FLY ASH AS A FILLER ON
CHARACTERISTICS OF MIXED MARSHALL AC-WC***

**GARUDA DIRGANTARA
D011 17 1536**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH ABU TERBANG SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL CAMPURAN AC-WC**

Disusun dan diajukan oleh:

GARUDA DIRGANTARA


D011 17 1536

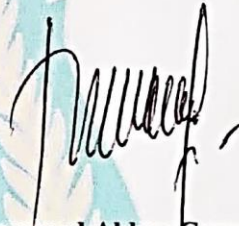
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 1 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,


Pembimbing I,

Pembimbing II,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002


Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng
NIP: 198604092019043001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Garuda Dirgantara
NIM : D011 17 1536
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Pengaruh Abu Terbang Sebagai Filler Terhadap karakteristik Marshall Campuran AC-WC

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 27 April 2021

Yang membuat pernyataan,



Garuda Dirgantara
NIM: D011 17 1536

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH ABU TERBANG KELAS C SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.

Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini

Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT., selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.

Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **IR.Soharto** dan ibunda **Murniati** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

Adik tercinta **Zahra Aulia, Alya Tatiana, Naira Arsyla, Zaki** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.

Kak Miswar ST., Masnia, Ochang, Grace, Arya, dan Theo selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Saudara-saudari **PLASTIS** dan adik-adik angkatan 2020 yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, April 2021

Penulis

ABSTRAK

Pada pembangunan sarana transportasi jalan raya di Indonesia saat ini untuk perkerasan masih didominasi oleh penggunaan aspal. Jenis aspal yang paling banyak digunakan untuk perkerasan jalan raya adalah aspal yang berasal dari destilasi minyak bumi, yang kemudian dikenal dengan sebutan aspal minyak.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis hubungan beban dan deformasi campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler dan menganalisis nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan beban dan deformasi campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler menunjukkan nilai beban yang semakin meningkat hingga mencapai nilai beban puncak dan mengalami penurunan yang berangsur-angsur hingga 5% dari beban puncak yang disertai dengan deformasi yang semakin meningkat. Hal ini terjadi pada semua kadar aspal minyak yang menunjukkan bahwa campuran AC-WC memiliki fleksibilitas yang besar. Nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang kelas c sebagai filler berdasarkan karakteristik marshal di peroleh sebesar 5,5%. Hasil penelitian ini dapat mendorong pembangunan infrastruktur nasional berbasis material limbah yang dapat di gunakan sebagai bahan pengisi dan dapat meningkatkan campuran beraspal, khususnya campuran AC-WC.

ABSTRAK

Currently, the construction of road transportation facilities in Indonesia for pavement is still dominated by the use of asphalt. The most widely used type of asphalt for road pavement is asphalt derived from petroleum distillation, which is then known as oil asphalt.

The purpose of this study was to analyze the relationship between load and deformation of the AC-WC mixture fly ash as a filler and to analyze the optimum asphalt content value of the AC-WC mixture fly ash as a filler.

The results showed that the relationship between load and deformation of the AC-WC mixture fly ash as a filler showed an increasing load value until it reached the peak load value and decreased gradually up to 5% of the peak load accompanied by increasing deformation. increase. This occurs at all asphalt oil content which indicates that the AC-WC mixture has great flexibility. The value of the optimum asphalt content of the AC-WC mixture fly ash as a filler based on marshal characteristics was obtained at 5.5%. The results of this study can encourage the development of national infrastructure based on waste materials that can be used as fillers and can improve asphalt mixtures, especially the AC-WC mixture.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	4
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Perkembangan Perkerasan Jalan di Indonesia	8
B. Fly Ash Sebagai Filler	10
C. Uji Karakteristik Marshall	14
D. Konsep Campuran Aspal Minyak dan Re spon Perkerasan Akibat Pembebanan	19
E. Kerangka Pikir Penelitian	24
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	26
A. Lokasi Penelitian	26
B. Rancangan Uji.....	29
C. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Beraspal Panas dengan Bahan Pengikat Aspal Minyak	34
D. Pengujian Karakteristik Campuran Aspal Minyak	37

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
A. Pengujian Karakteristik Marshall.....	40
B. Gradasi Agregat Gabungan.....	43
C. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan.....	45
D. Hubungan Beban dan Deformasi Campuran AC-WC yang Menggunakan Abu Terbang Sebagai Filler.....	46
E. Karakteristik Marshall campuran AC-WC sebelum penambahan Fly ash (Abu terbang).....	51
F. Karakteristik Marshall Campuran AC-WC dengan Bahan Tambah Fly Ash	63
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	73
A. Kesimpulan	73
B. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Abu Terbang Kelas C..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. Skema volumetrik campuran beraspal
- Gambar 3. Kinerja perkerasan lentur
- Gambar 4. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)
- Gambar 5. Distribusi tegangan dan tekanan (*The Shell Bitumen Handbook, 2015*)
- Gamaar 6. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook, 2015*)
- Gambar 7. Kerangka pikir penelitian
- Gambar 8. Lokasi penelitian
- Gambar 9. Diagram air penelitian
- Gambar 10. Prosdur pembuatan beda uji
- Gambar 11. Alat pengujian *Marshall*
- Gambar 12. Gradasi agregat gabungan
- Gambar 13. Hubungan antara beban dan deformasi pada kadar aspal minyak 5.0%
- Gambar 14. Hubungan antara beban dan deformasi pada kadar aspal minyak 5.5%
- Gambar 15. Hubungan antara beban dan deformasi pada kadar aspal 6.0%
- Gambar 16. Hubungan antara beban dan deformasi pada kadar aspal 6.5%

Gambar 17. Hubungan antara beban dan deformasi pada kadar aspal 7.0%

Gambar .18. Hubungan Stabilitas dan abu terbang

Gambar 19. Hubungan Flow dan abu terbang

Gamabr 20. Hubungan Marshall Quotient dan kadar Abu terbang

Gambar 21. Hubungan Kadar Abu Terbang dengan VIM

Gambar 22. Hubungan Kadar Abu Terbang dengan VMA

Gambar 23. Hubungan Kadar Abu Terbang dengan VFB

Gambar 24. Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum Menggunakan Abu Terbang

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kebutuhan Kandungan Kimia Abu Terbang (ASTM C 618-05, 2005)

Tabel 2. Metode pengujian karakteristik agregat **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3. Metode pengujian karakteristik Aspal Minyak

Tabel 4. Matriks jumlah uji untuk penentuan KAO dengan menggunakan filler abu terbang

Tabel 5.1 Karakteristik sifat fisik agregat kasar

Tabel 5.2 Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu

Tabel 5.3 Hasil pemeriksaan karakteristik abu terbang Anggrek

Tabel 5.4 Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak

Tabel 6. Komposisi material dalam berat untuk 1200 gram

Tabel 7. Hasil pengujian karakteristik Marshall untuk seluruh parameter

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada pembangunan sarana transportasi jalan raya di Indonesia saat ini untuk perkerasan masih didominasi oleh penggunaan aspal. Jenis aspal yang paling banyak digunakan untuk perkerasan jalan raya adalah aspal yang berasal dari destilasi minyak bumi, yang kemudian dikenal dengan sebutan aspal minyak.

Aspal beton (AC) atau lapis aspal beton (laston) salah satu jenis perkerasan fleksibel yang banyak diterapkan di Indonesia. Laston yang dikenal di Indonesia terdiri dari *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*, *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*, dan *Asphalt Concrete Base (AC-Base)*. Campuran aspal AC-BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi yang lebih kasar dari AC-WC tetapi lebih halus daripada AC-Base. Laston biasanya digunakan pada daerah yang mengalami deformasi tinggi seperti daerah pegunungan, gerbang tol atau pada daerah dekat lampu lalu lintas dan daerah dengan lalu lintas berat.

Suatu lapis perkerasan jalan diharapkan mampu memenuhi sifat stabilitas, yaitu kemampuan perkerasan aspal menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap. Namun kenyataannya, pada masa pelayanannya, perkerasan jalan sering mengalami kerusakan atau

tidak mencapai umur layanan jalan. Di Jalan Lintas Timur Sumatera terjadi penurunan dalam pelayanan usia jalan sebesar 25,94% (Sentosa, 2012), jalan nasional di Aceh terjadi penurunan umur layan sebesar 4,3 tahun dari umur rencana 10 tahun (Syafriana, 2015), di Jalan Pantura Jawa hanya memiliki umur jalan selama 1,5 hingga 2 tahun dari seharusnya 10 tahun (Antara News, 2008). Selain itu, menurut data Informasi Statistik PU dan Perumahan Rakyat (2015) jalan di Indonesia dalam kondisi baik hanya sebesar 62 %, sedangkan kondisi jalan yang lain dalam keadaan rusak ringan ataupun rusak berat.

Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Bahan pengisi pada campuran beraspal terutama sebagai lapis permukaan jalan merupakan salah satu komponen yang mempunyai persentase terkecil disamping aspal. Namun, mempunyai fungsi yang sangat penting untuk memodifikasi gradasi agregat halus dalam campuran beraspal sehingga kepadatan campuran bisa meningkat (S. Ali, 2006). Adapun material *fly ash* sering digunakan dalam struktur bangunan untuk mendapatkan beton dengan kekuatan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, ada kemungkinan jika material *fly ash* digunakan sebagai salah satu bahan campuran beraspal panas, maka parameter-parameter yang terdapat pada campuran beraspal tersebut akan meningkat. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi

kemungkinan penggunaan fly ash sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal.

Ali, N., dkk., (1996) mempelajari pengaruh fly ash pada sifat mekanik campuran aspal; dan mengevaluasi pengaruh penggunaan fly ash pada proses mitigasi dan perbaikan kinerja perkerasan aspal beton. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa fly ash dapat digunakan sebagai sebuah mineral pengisi untuk meningkatkan karakteristik modulus resilien dan ketahanan stripping.

Asi, Ibrahim dan Abdullah Assa'ad. (2005) melakukan penelitian dengan memanfaatkan abu terbang dalam modifikasi campuran aspal lokal. Efisiensi modifikasi dievaluasi dengan perbaikan kinerja campuran beton aspal. Hasil yang diperoleh dianalisis secara statistik dan menunjukkan bahwa secara umum, penambahan abu terbang meningkatkan kekuatan dan sensitivitas air pada campuran aspal beton mengganti 10% pengisi mineral dengan fly ash terbukti merupakan persentase paling efektif dalam memperbaiki sifat mekanik dari semua sampel yang disiapkan.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok

pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*): Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*Marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2013)

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dilakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Abu Terbang Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-WC”**.

B. Rumusan Masalah

Teknologi campuran beraspal saat ini sudah mencapai pada penggunaan material limbah sebagai bahan material campuran beraspal. Penelitian ini berusaha mendorong penggunaan fly ash (abu terbang) sebagai bahan pengisi. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hubungan beban dan deformasi campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler.
2. Bagaimana nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis hubungan beban dan deformasi campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler.
2. Menganalisis nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC dengan menggunakan abu terbang sebagai filler.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah menghasilkan suatu inovasi pada teknologi campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) dengan abu terbang (*fly ash*) sebagai filler atau bahan pengisi pada campuran AC-WC.

E. Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan ini serta menguraikan pokok bahasan diatas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini adalah :

Permasalahan perendaman nilai Kadar Aspal minyak pada campuran AC-WC sehingga perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga fokus penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Menggunakan abu terbang (fly ash) sebagai bahan pengisi.
3. Menggunakan aspal minyak pen 60/70 sebagai bahan pengikat.
4. Benda uji jenis campuran AC-WC yang digunakan, dilakukan pengujian karakteristik marshall, perendaman air secara laboratorium pada suhu ruang selama 24 jam untuk menghitung nilai volumetrik (VIM, VMA dan VFB).
5. Tidak dilakukan pengujian semikuantitatif (Pengujian XRF dan XRD)

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah penulisan tugas akhir , sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dapat diurutkan yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini, Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai landasan atau acuan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah karakteristik material, hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan halus, gradasi agregat gabungan, rancangan dan campuran komposisi AC-WC berdasarkan kadar aspal, Karakteristik marshall campuran AC-WC dengan bahan tambah Fly ash (Abu terbang),

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkembangan Perkerasan Jalan di Indonesia

Perkembangan konstruksi jalan yang digunakan oleh seluruh dunia diawali oleh temuan Thomas Telford (1757-1834) dan Jhon London Mac Adam (1756-1836). Konstruksi ini diberi lapisan aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan seluruh dunia menggunakan teknologi ini sebagai konstruksi jalan. Perkembangan selanjutnya adalah konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (*hot-mix*). Jenis perkerasan ini dinamakan perkerasan lentur.

Dewasa ini, muncul teknologi perkerasan kaku (*rigid pavement*) untuk menggantikan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan kaku merupakan perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi bila dibandingkan dengan perkerasan lentur, sehingga lebih sering disebut dengan perkerasan kaku atau rigid pavement (Anas Ali, 2000).

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 40 % jaringan jalan yang ada di Indonesia

mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional pada tahun 2002 mencapai 330.495 km. Secara keseluruhan jalan yang rusak meliputi jalan negara sekitar 12% (3.224 km), jalan provinsi sekitar 34% (12.636 km), sementara jalan kabupaten yang rusak mencapai 47% (113.244 km) (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2005).

Kekurangan perkerasan beton dibandingkan perkerasan beraspal adalah biaya awal dan perbaikan konstruksi yang cukup tinggi, butuh waktu sampai cukup kuat untuk dilewati, tidak sesuai bagi konstruksi badan jalan yang labil atau masih terjadi bongkar pasang utilitas, kurang nyaman (kekasaran, sambungan) dan silau akibat warna perkerasan yang cenderung putih (M.Sjahdanulirwan, Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2006).

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah kelangkaan aspal juga selalu muncul. Dimana kebutuhan aspal bangsa Indonesia diproyeksi mencapai angka 1.2 juta ton pertahun, hanya mampu disediakan oleh PT. Pertamina 600 ribu ton, sehingga kekurangannya adalah separuhnya yaitu sebesar 600 ribu ton (Nyoman Suaryana, 2008). Muncul pemikiran penggunaan aspal Buton Indonesia secara maksimal hingga saat ini diperkuat oleh surat edaran Direktorat Jenderal Bina Marga yang mewajibkan seluruh paket-paket proyek *hot-mix* agar menggunakan Asbuton butir sebagai bahan substitusi dalam campuran *hot-mix*. Namun setelah diterapkan, substitusi ini hanya efektif penggunaannya pada penggunaan 8%

terhadap campuran. Sehingga hanya kurang lebih 2,5 % bitumennya yang mampu mensubstitusi aspal minyak.

B. Fly Ash Sebagai Filler

Fly ash adalah suatu limbah yang berasal dari industri-industri yang menggunakan batu bara sebagai sumber bahan bakar. Salah satu proses pembakaran batu bara yang menghasilkan *fly ash* ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mempergunakan batu bara sebagai sumber energinya. Produksi *fly ash* ini di beberapa PLTU jumlahnya cukup banyak, salah satunya di PLTU Sijantang Ombilin Sawah Lunto Sumatera Barat. Dari segi kimia komponen yang terbanyak dikandung *fly ash* adalah silika (SiO_2) dan aluminium silikat (Al_2O_3) (S. Ali, 2006).

Terdapat dua macam abu batu bara, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Abu terbang merupakan bagian terbesar (80% atau lebih) dari abu batu bara. Abu tersebut mempunyai ukuran butir yang lebih halus (lebih kecil dari 200 μm) dan berwarna lebih terang (keabu-abuan) bila dibandingkan dengan abu dasar. Abu terbang didominasi oleh alumina dan silika, sedangkan unsur lain yang juga berperan adalah oksida besi dan kalsium. Berat jenisnya berkisar antara 1,95 - 2,95 gr/cm^3 . Sebagai filler untuk aspal telah banyak digunakan di beberapa negara Eropa dengan komposisi agregat kasar/halus, *filler*, dan aspal, tetapi hal ini belum dilakukan di Indonesia (Syaiful dan S. Mulyawan, 2013). Oleh karena itu, penelitian ini

mendorong penggunaan fly ash yang merupakan limbah dari pembakaran batu bara sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal dan mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis *green technology*.

Fly ash ini mempunyai sifat aktif dan mengeras bila dicampur kapur padam dan air serta akan bersifat sebagai *Pozzolan*. Carpenter mengatakan bahwa pemakaian *fly ash* pada campuran beton aspal dapat menambah ketahanan terhadap pengaruh air. Warden mengatakan pemakaian *fly ash* sebagai campuran beton aspal dapat meningkatkan fleksibilitas, stabilitas dan daya tahan terhadap pengaruh air (S. Ali, 2006).

Solid material adalah salah satu komponen sistem anorganik geopolymer. Solid material untuk geopolymer dapat berupa mineral alami seperti kaolin, tanah liat, mika, andalusit, spinel dan lain sebagainya. Alternatif lain yang dapat digunakan adalah material yang berasal dari produk sampingan seperti abu terbang, silica fume, terak, rice-husk ash, lumpur merah, dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan abu terbang sebagai solid material. Abu terbang merupakan material hasil sampingan (*by-product*) industri salah satunya adalah sisa hasil proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Material abu terbang dikategorikan dalam material "*pozzolon*" yakni material *siliceous* atau *aluminous* yang didalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material *cementious* sebagaimana yang dimiliki semen portland. Material abu terbang dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkali pada temperatur tertentu untuk membentuk

material-campuran yang memiliki sifat seperti semen. Abu terbang, biasa dikenal sebagai abu berbentuk serbuk, yang merupakan hasil sisa dari pembakaran abu batu bara pada pembangkit tenaga listrik, yang dipisahkan dari gas pembakaran melalui pengumpul mekanik atau elektrostatik. *Abu terbang* terdiri dari sebagian besar partikel yang mempunyai diameter 1-150 mikrometer yang lolos dari ayakan 45 mikrometer. Berdasarkan ASTM C 618-05 (2005), abu terbang didefinisikan sebagai material halus yang berasal dari hasil pembakaran batu bara. Penggunaan abu terbang pada beton ataupun mortar mempunyai banyak keunggulan baik untuk kondisi beton/mortar fresh dan mengeras. Keunggulan pada beton/mortar fresh adalah meningkatkan kelacakan (*workability*) mengurangi kebutuhan air, mengurangi *bleeding*, dan memperlambat waktu pengerasan beton dan mortar pada saat proses pengecoran.

Tabel 3. menunjukkan persyaratan fisik abu terbang. Umumnya abu terbang memiliki komposisi kimia utama berupa *silica* (SiO_2), *alumina* (Al_2O_3) dan *ferric oxide* (Fe_2O_3). Kandungan kimia lainnya seperti *calcium oxide* (CaO), *magnesium* (MgO), *sulphur* (SO_3), *alkaline* (Na_2O , K_2O), *phosphorus* (P_2O_5), *manganese* (Mn_2O_3) dan *titanium* (TiO_2). ASTM C 618-05 membagi abu terbang dalam tiga kategori yaitu kelas N, kelas F dan kelas C seperti pada Tabel 2.3. Minimum kandungan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 adalah 70% untuk kelas N dan kelas F, sedangkan kelas C antara 50% - 70 %. Sehingga, kandungan CaO pada abu terbang kelas N dan F relatif kecil

dibandingkan dengan kelas C dimana kandungan CaO kelas C lebih besar dari 20% (J. Temuujin dkk, 2009). Gambar 3. dan Gambar 4. masing-masing memperlihatkan jenis abu terbang kelas F dan jenis abu terbang kelas C yang biasa digunakan dalam membuat beton geopolymer maupun mortar geopolymer.

Tabel 1. Kebutuhan Kandungan Kimia Abu Terbang (ASTM C 618-05, 2005)

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Silicon dioxide</i> (SiO ₂) plus <i>aluminium oxide</i> (Al ₂ O ₃) plus <i>iron oxide</i> (F ₂ O ₃), min, %	70	70	50
<i>Sulfur trioxide</i> (SO ₃), maks, %	4.0	5.0	5.0
Moisture, maks, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition (LOI), maks, %	10.0	6.0	6.0

Sumber: ASTM C 618-03, 2003



Gambar 1. Abu Terbang Kelas C

C. Uji Karakteristik Marshall

Li dkk, (1999) telah melakukan pengujian campuran aspal dengan metode marshall dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari campuran aspal panas, dimaksudkan untuk mendapatkan stabilitas dan *flow* dibaca langsung dengan dial. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh *Bruce Marshall* dari *Missisipi State Highway Department* sekitar tahun 1940-an. Selain mendapatkannilai stabilitas dan *flow*akan didapatkan pula nilai VIM, VMA, *density* campuran aspal dan marshall quotient. Dalam penelitian *elastic modulus* campuran aspal beton, design campuran aspal yang digunakan melibatkan metode marshall.

Gul dkk, (2014) mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen dari campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder dipadatkan yanga dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat marshall, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat. Sedangkan Xiang dkk, (2008) mengatakan untuk mengevaluasi karakteristik retak pada campuran aspal digunakan metode marshall dalam mendesain campuran aspal. Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri dari: rongga udara dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA).

Adapun persyaratan campuran beraspal dingin dengan Asbuton butir menurut Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga tahun

2006 No : 001 – 05 /BM/2006 tentang pemanfaatan Asbuton, campuran beraspal panas dengan Aspal minyak butir peremaja emulsi. Persyaratan briket hasil pemadatan dengan 2 × 50 tumbukan sedangkan pada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall 2 × 75 tumbukan untuk lalu lintas berat.

1. Stabilitas (*Stability*)

Kemampuan menahan beban dengan deformasi yang kecil diperlihatkan dengan nilai stabilitas yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Affandi, (2006) menunjukkan bahwa dengan menggunakan asbuton murni pada campuran aspal dapatmeningkat stabilitas campuran aspal. Sedangkan penelitian oleh Hermadi, (2006) mengatakan bahwa bertambahnya mineral Asbuton dalam campuran aspal memberi dampak pada rendahnya density campuran aspal sebab berat jenis mineral asbuton yang lebih rendah. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Affandi (2006) memperlihatkan bahwa stabilitas campuran aspal AC WC yang mengandung aspal minyak sebesar 1200 kg. Kurniadji, (2006) mengemukakan bahwa penggunaan Aspal minyak pada campuran aspal beton sebesar 1310 kg.

2. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*Flow*) merupakan besarnya deformasi vertikal yang dinyatakan dalam satuan millimeter (mm) yang terjadi pada benda uji padat dari campuran aspal hingga mencapai titik beban maksimum pada saat pengujian stabilitas Marshall. Hal ini menunjukkan besarnya deformasi yang

terjadi pada lapis perkerasan aspal akibat menahan beban yang berada di atasnya. Nilai flow ini sangat dipengaruhi oleh viscositas atau kekentalan dan persentase aspal yang digunakan, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Telah dilakukan beberapa penelitian mengenai campuran beraspal diantaranya oleh Furqon Affandi dan Kurniadji (2006) mengenai campuran beraspal yang mengatakan bahwa nilai Flow dari campuran aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yang murni menggunakan aspal Buton murni yaitu sebesar 3,7 mm dan 3,3 mm pada campuran aspal beton yang menggunakan Aspal minyak.

3. Void in the mix (VIM)

Dikatakan oleh Hermadi, dkk (2008) nilai VIM yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal lebih porous sehingga aspal kurang awet dan stabilitas rendah. Nilai VIM dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya persentase agregat kasar, filler maupun persentase bitumen dalam campuran. Bentuk fisik material juga sangat berpengaruh seperti kubikal atau pipih. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kurniadji, 2006, diketahui nilai VIM campuran aspal yang menggunakan Aspal minyak.. Gambar 5 memperlihatkan skema volumetrik pada campuran aspal. Analisa rumus VIM berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Aspal minyak campuran beraspal panas dengan aspal minyak butir peremaja emulsi adalah :

$$VIM (\%) = V - \left\{ \left(\frac{KA \times 100}{L} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

A_R = Kadar residu dalam campuran (%)

G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)

L = Berat benda uji setelah oven (gr)

K_A = Kadar air (%)

4. Void in mineral agregat

Penelitian yang dilakukan oleh Tayfur, (2007) dikatakan bahwa rongga diantara mineral agregat (VMA) merupakan parameter yang menentukan dalam campuran aspal, semakin kecil nilai VIM maka semakin kaku campuran aspal. Suaryana, (2008) mengatakan bahwa nilai VMA sebesar 20,29% pada campuran aspal AC menggunakan aspal minyak 60/70. Hermadi, 2008 mendapatkan nilai VMA 19,2% pada campuran aspal AC WC menggunakan aspal minyak. Analisa rumus VMA berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Aspal minyak campuran beraspal panas dengan aspal minyak butir peremaja emulsi adalah :

$$VMA (\%) = \left\{ \left(\frac{100 + AR + KA}{G} - \frac{100}{C_S} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

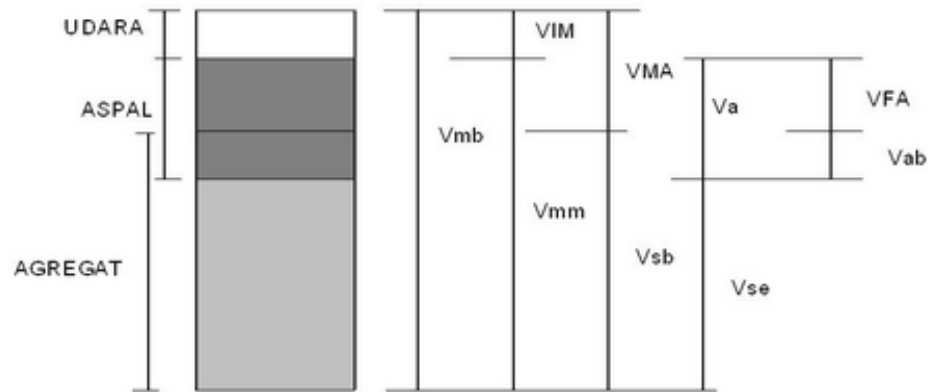
Dimana :

A_R = Kadar residu dalam campuran (%)

C_S = Berat jenis semu

G = BJ Bulk -berat benda uji (gr)

K_A = Kadar air (%)



Gambar 2. Skema volumetrik campuran beraspal

5. Marshall Quotient (MQ)

Dikatakan oleh Ahmedzade dkk, (2008) bahwa *Marshall Quotient* (MQ) adalah sebagai karakteristik harga modulus daya tekan atau kekakuan. Nilai MQ merupakan indikator bahwa campuran aspal tahan terhadap deformasi, nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kekakuan yang tinggi.

Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal bersifat kaku, berarti campuran cukup padat dengan stabilitas yang tinggi. MQ yang rendah menunjukkan campuran aspal yang lembek dan kurang cukup stabilitasnya dengan suatu resiko yang memungkinkan terjadinya retak permukaan campuran aspal dan pergerakan horizontal pada arah perjalanan (Tayfur, 2007). Sehingga campuran aspal dengan *Marshall Quotient* yang tinggi lebih tahan terhadap retak akibat depormasi permanen.

Menurut Hermadi, (2008), nilai *Marshall Quotient* campuran aspal AC WC menggunakan asbuton Lawele sebesar 260 kg/mm. Menurut (Affandi, 2008), nilai *Marshall Quotient* campuran aspal minyak

Analisa rumus MQ berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Aspal minyak campuran beraspal panas dengan aspal minyak butir peremaja emulsi adalah :

$$MQ = \frac{S}{F} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)

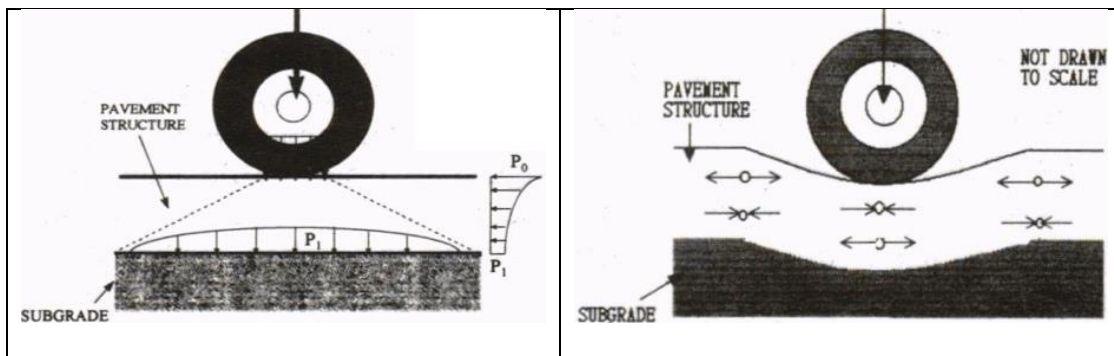
F = Nilai *flow* (mm)

D. Konsep Campuran Aspal Minyak dan Respon Perkerasan Akibat Pembebanan

Spesifikasi Khusus Bina Marga, Indonesia (2010) tentang campuran beraspal panas, dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan campuran beraspal panas dengan aspal yang dimodifikasi adalah campuran agregat dan aspal dari jenis Aspal minyak, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan. Pekerjaan ini mencakup pembuatan lapisan campuran aspal modifikasi untuk lapis permukaan antara dan lapis permukaan (lapis aus), yang dihampar dan dipadatkan di atas lapis pondasi ataupermukaan jalan yang telah disiapkan

sesuai dengan spesifikasi dan memenuhi garis, ketinggian, dan potongan memanjang serta potongan melintang yang ditunjukkan dalam Gambar Rencana.

Chen *et al* dalam *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol.4, No.1, October, 2001, memberikan gambaran kinerja pembebanan pada *flexibel pavement* seperti yang terlihat pada Gambar 3.



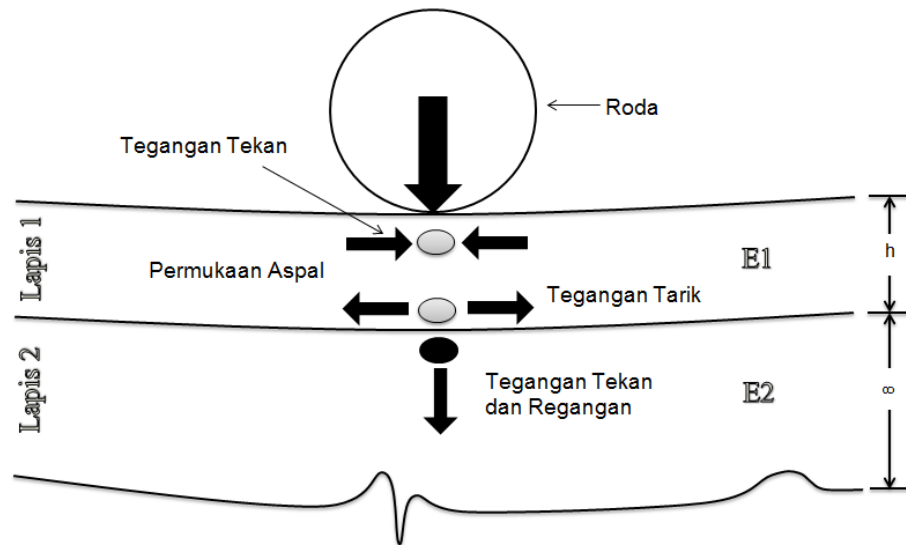
Gambar 3. Kinerja perkerasan lentur

Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Croney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semua lapisan yang terletak di bawah permukaan aspal (*top-layer*) yang secara teoritis ditandai dengan satu nilai komposit modulus elastisitas (E_2). Akibatnya, kriteria desain perkerasan jalan dapat dibahas yaitu :

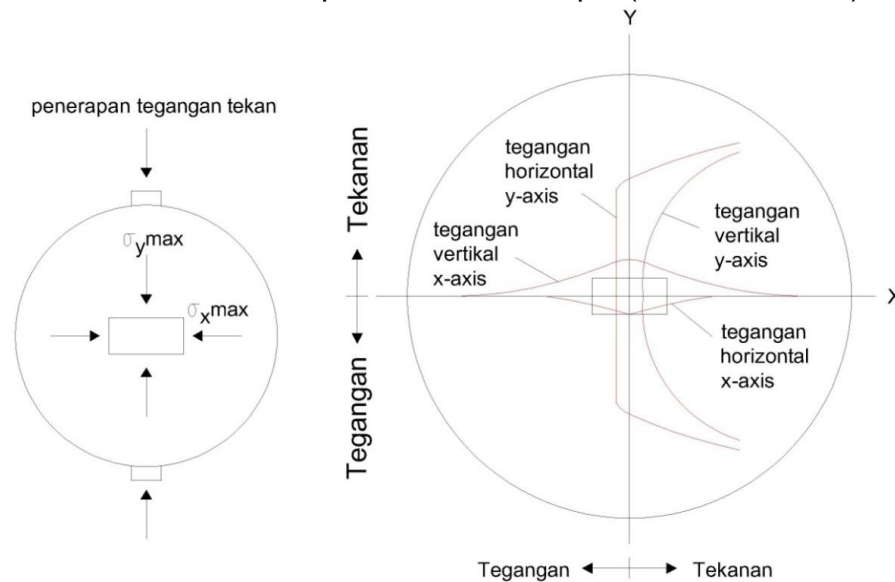
- a. Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.

- b. Tegangan tarik horizontal dan reganganyang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.

Gambar 4 memperlihatkan sistem perkerasan jalan dengan sistem dua lapis dengan distribusi tegangan dan regangan pada perkerasan jalan yang ditinjau. Untuk sistem perkerasan *multi-layer*, penyederhanaan pada lapisan atas dan karakterisasi dari lapisan-lapisan dalam menahan beban yang ada pada perkerasan jalan. Pada Gambar 4 menunjukkan adanya penyederhanaan model dengan asumsi kondisi lalu lintas sebagai pembebanan statis dan karakterisasi pada kondisi linier-elastis isotropik dari bahan itu sendiri. Dalam Gambar 4, Q adalah beban ban dengan satuan kN, p adalah tekanan ban dalam kPa, h adalah ketebalan lapisan aspal permukaan dalam mm dan E_1 serta E_2 adalah modulus elastisitas dalam MPa. Gambar 5 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan. Berdasarkan Gambar 5 yang memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada perkerasan jalan, terlihat bahwa penerapan tegangan tekan yang terjadi berupa tegangan tekan arah horizontal maksimum ($\sigma_y = \max$) dan tegangan tekan arah vertikal maksimum ($\sigma_x = \max$).



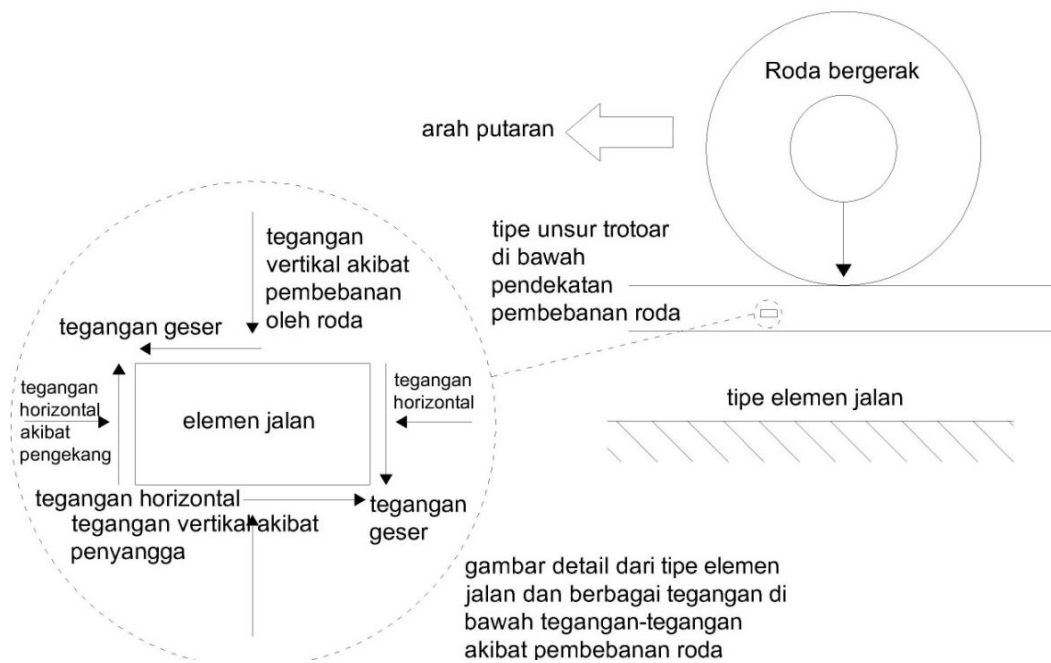
Gambar 4. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



Gambar 5. Distribusi tegangan dan tekanan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)

Selain itu, tegangan dan tekanan saling melawan sehingga besarnya tekanan sama dengan besarnya tegangan yang terjadi baik tegangan horizontal (y-axis) dan tegangan vertikal (x-axis). Distribusi tegangan dan tekanan yang terjadi pada perkerasan jalan ini dapat disebabkan oleh beban

lalu lintas maupun beban roda kendaraan yang berulang. Gambar 6 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan.



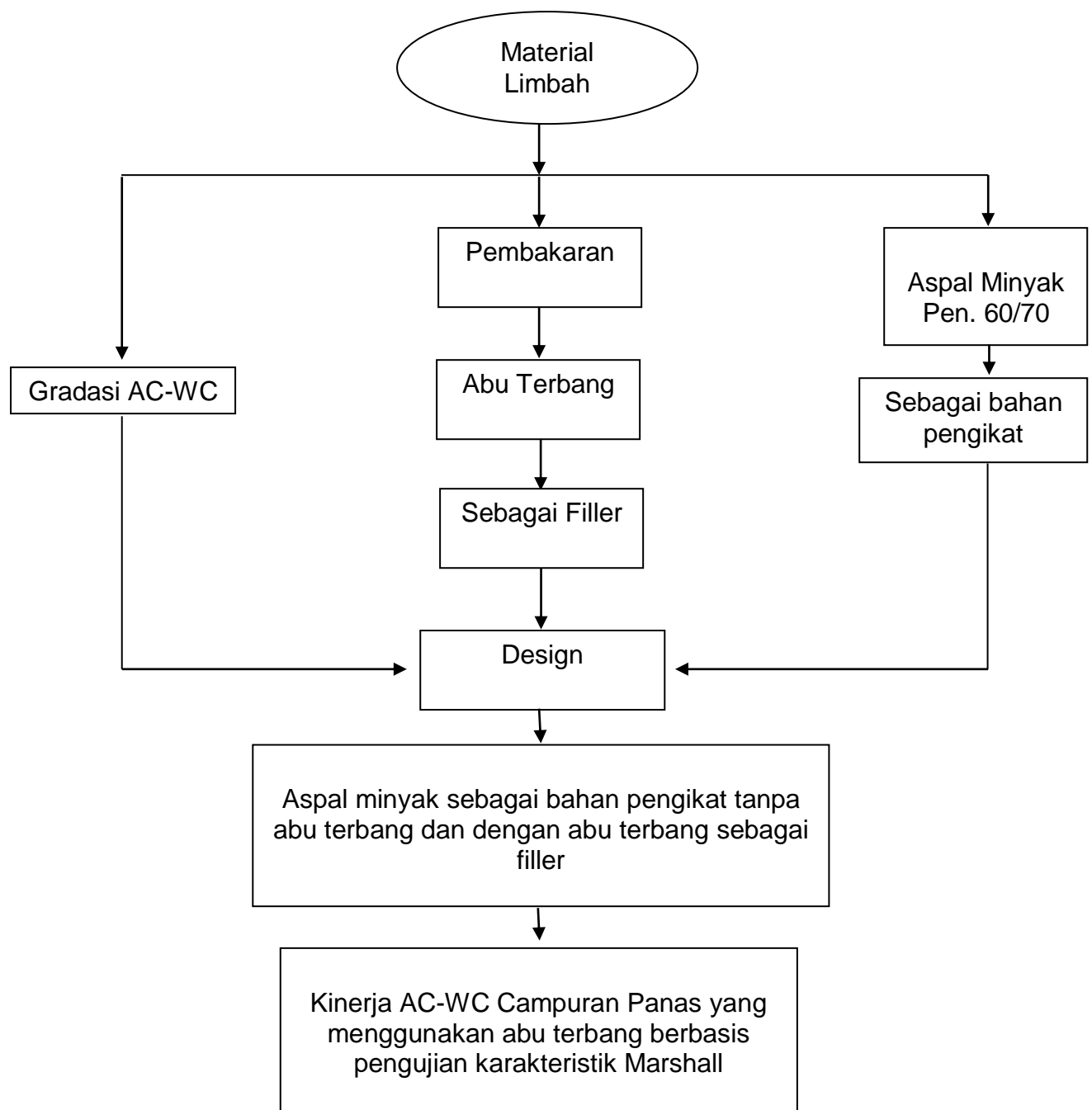
Gambar 6. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook, 2015*)

Berdasarkan Gambar 6 yang memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan, terlihat bahwa tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan adalah tegangan geser arah horizontal dan tegangan geser arah vertikal. Tegangan geser pada perkerasan jalan ini terjadi pada daerah bawah perkerasan jalan yang disebabkan oleh

pembebanan roda kendaraan. Pembebanan roda kendaraan yang terjadi bisa disebabkan karena pembebanan secara berulang dan terus-menerus.

E. Kerangka Pikir Penelitian

Penelitian ini mendorong penggunaan material limbah dalam campuran beraspal khususnya campuran AC-WC. Selain itu, beberapa peneliti sebelumnya menyebutkan kemampuan fly ash sebagai filler yang dapat memperbaiki kinerja campuran beraspal. Kedua hal inilah yang akan menjadi pertimbangan mengenai penggunaan dan pemanfaatannya dalam penelitian ini, dimana diharapkan dapat berkontribusi dalam pembangunan infrastruktur nasional berbasis *green technology* dan berbasis material limbah. Teknologi ini diawali dengan menggunakan abu terbang sebagai bahan pengisi (filler) dalam campuran beraspal. Gambar 9 memperlihatkan kerangka pikir penelitian.



Gambar 7. Kerangka pikir penelitian