

TUGAS AKHIR

**NILAI KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC
YANG MENGANDUNG ABU TERBANG**

***INDIRECT TENSION STRENGTH VALUE OF AC-WC MIXED
CONTAINING FLY ASH***

**CELVYN APRILIANTO KAREBA
D111 16 316**



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

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

NILAI KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG AC-WC YANG MENGANDUNG ABU TERBANG

Disusun dan diajukan oleh:

CELVYN APRILIANTO KAREBA

D111 16 316

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 : Celvyn Aprilanto Kareba
NIM : D111 16 316
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC Yang Mengandung Abu Terbang

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, 8 Desember 2021

Yang membuat pernyataan,



Celvyn Aprilianto Kareba
NIM: D111 16 316

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**NILAI KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG ABU TERBANG**” 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 :

1. **Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **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.
3. **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
4. **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.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. 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:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Yulius S Kareba** dan ibunda **Rina S Bamba** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Adik tercinta **Cindy Amelia Kareba** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. **Wil , Germo , Soneng** selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Kepada Saudara **Mukarramah Latief, Rangga Trisaputra Dariman, Niels Pasorong** di Unhas yang selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.
5. Saudara-saudari **PATRON 2017** yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman pengurus **HMS FT-UH Periode 2019**, yang telah memberi warna dan drama dalam perjalanan perkuliahan saya.
7. Kepada saudara Teman-teman **KMKO TEKNIK 2016** yang telah menjadi penyemangat dan selalu memberi dukungan bagi penulis.

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, Desember 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 untuk menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan fly ash sebagai bahan penguji dan menganalisis hubungan antara nilai tegangan tarik dengan kadar aspal minyak campuran AC-WC yang menggunakan fly ash sebagai bahan pengikat.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan tegangan dan regangan pada Kadar aspal 5,0% membentuk garis lurus hingga 30% pada daerah elastis, sedangkan hubungan tegangan dan regangan pada kadar aspal 5,5% membentuk garis hingga 35% pada daerah elastis, hubungan tegangan dan regangan pada kadar aspal 6,0% membentuk garis lurus hingga 50% pada daerah elastis, hubungan tegangan dan regangan pada kadar aspal 6,5% membentuk garis hingga 40% pada daerah elastis, dan hubungan tegangan dan regangan pada kadar aspal 7,0% membentuk garis hingga 35% pada daerah elastis. Hubungan antara nilai tegangan tarik dengan kadar aspal minyak 5,0% adalah masing-masing sebesar 0,41% , 0,23%, 0,21% dan 0,15%. Sedangkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai kuat tarik tidak langsung dapat didekati dengan persamaan polinomial pangkat dua yaitu $Y = -0.1743x^2 + 2.1094x - 5.3571$.

Kata kunci :Campuran AC-WC, Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung, Filler

ABSTRACT

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 stress and strain relationship of the AC-WC mixture using fly ash as a test material and to analyze the relationship between the tensile stress value and the asphalt content of the AC-WC mixture using fly ash as a binder.

The results of this study indicate that the relationship between stress and strain at 5.0% asphalt content forms a straight line up to 30% in the elastic area, while the stress and strain relationship at 5.5% asphalt content forms a line up to 35% in the elastic area, the relationship between stress and strain at 5.5% asphalt content. The strain at 6.0% asphalt content forms a straight line up to 50% in the elastic area, the stress and strain relationship at 6.5% asphalt content forms a line up to 40% in the elastic area, and the stress and strain relationship at 7.0% asphalt content forming a line up to 35% in the elastic region. The relationship between the value of the tensile stress and the asphalt oil content of 5.0% is 0.41%, 0.23%, 0.21% and 0.15%, respectively. Meanwhile, the relationship between oil asphalt content and the tensile strength value can not be directly approximated by the polynomial equation to the power of two, namely $Y = -0.1743x^2 + 2.1094x - 5.3571$.

Key words : AC-WC Mixture, Indirect Tensile Strenght Value, Filler

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Deskripsi Aspal Minyak	7
B. Fly Ash Sebagai Filler	8
C. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC.....	10
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	18
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	18
B. Bagan Alir Penelitian	18
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	19
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Beraspal Panas dengan Bahan Pengikat Aspal Minyak.....	22
E. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung	25
F. Jumlah Benda Uji	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	28

A. Karakteristik Material	28
B. Gradasi Agregat Gabungan.....	31
C. Rancangan Dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan	33
D. Hubungan Tegangan Regangan Campuran AC-WC Akibat Beban Tarik 34	
E. Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC	40
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	43
A. Kesimpulan	43
B. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Indirect tensile strength</i> campuran yang dimodifikasi (Tayfur dkk, 2007)	13
Gambar 2. Diagram pembebanan uji ITS (Birgisson, dkk., 2008)	14
Gambar 3. Hubungan regangan akibat beban tarik dan tegangan tarik (Sumber : Birgisson dkk, 2008)	16
Gambar 4. Diagram alir penelitian	19
Gambar 5. Prosedur pembuatan benda uji	22
Gambar 6. Posisi Benda Uji Pengujian ITS (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	25
Gambar 7. Gradasi agregat gabungan	32
Gambar 8. benda uji menggunakan filler dari abu terbang	35
Gambar 9. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan kadar aspal 5,5% untuk benda uji menggunakan filler dari abu terbang	36
Gambar 10. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan kadar	37
Gambar 11. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan kadar	38
Gambar 12. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan kadar	39
Gambar 13. Hubungan Kuat tarik tidak langsung dan kadar aspal dari abu terbang	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian terdahulu kuat tarik tidak langsung.....	12
Tabel 2. Metode pengujian karakteristik agregat	21
Tabel 3. Metode pengujian karakteristik Aspal minyak	21
Tabel 4. Matriks jumlah benda uji untuk pengujian ITS.....	27
Tabel 5. Karakteristik sifat fisik agregat kasar.....	28
Tabel 6. Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu.....	29
Tabel 7. Hasil pemeriksaan karakteristik abu terbang Anggrek	30
Tabel 8. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak.....	30
Tabel 9. Komposisi material dalam berat untuk 1200 gram	34
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS).....	41

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.

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 di atas maka dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan Fly Ash sebagai bahan pengisi ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja campuran khususnya menaikkan nilai kuat tarik tidak langsung dan menjadi salah satu solusi dari pemanfaatan material limbah atau material buangan. Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja campuran AC-WC yang menggunakan Fly Ash sebagai bahan pengisi, sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul **“Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Mengandung Abu Terbang”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan fly ash sebagai bahan pengisi?
2. Bagaimana hubungan antara nilai tegangan tarik dengan kadar aspal minyak campuran AC-WC yang menggunakan fly ash sebagai bahan pengikat?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan fly ash sebagai bahan pengisi
2. Menganalisis hubungan antara nilai tegangan tarik dengan kadar aspal minyak campuran AC-WC yang menggunakan fly ash sebagai bahan pengikat

D. Batasan Masalah

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*) kelas C sebagai bahan pengisi
3. Menggunakan aspal minyak pen 60/70 sebagai bahan pengikat
4. Benda uji jenis campuran AC-WC yang digunakan, dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung dalam kondisi normal, perendaman air secara laboratorium pada suhu ruang selama 24 Jam
5. Tidak dilakukan pengujian semikuantitatif (Pengujian XRF dan XRD)

E. 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.

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, Hubungan Tegangan Regangan Campuran AC-WC Akibat Beban Tarik, dan Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC

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. Deskripsi Aspal Minyak

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1, Petunjuk Umum).

A.1. Sumber aspal (bitumen)

A.1.1. Aspal (bitumen) hasil destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yakni suatu proses dimana bitumen dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan atau meningkatnya temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal (bitumen) hasil destilasi (penyulingan) ini yang kemudian dalam penggunaannya yang berbeda-beda sehingga aspal (bitumen) ini diklasifikasikan lagi menjadi : (1) aspal keras yang biasa digunakan untuk campuran *hot-mix*, (2) aspal (bitumen) cair digunakan untuk peruntukan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap dalam dunia perkerasan jalan dan (3) aspal emulsi yang diperuntukkan dan digunakan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap serta sebagai perekat dalam campuran aspal dingin (*cold mix*) dengan memanfaatkan aspal emulsi sebagai bahan pengikat.

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 *Pozzolanic*. 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.

C. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC

Kuat tarik tidak langsung (ITS) dimaksudkan untuk menentukan karakteristik kuat tarik dari aspal beton yang dapat dijadikan sebagai indikator dalam melakukan kajian terhadap retak (*cracking*) yang terjadi pada lapis perkerasan (Tayfur dkk, 2005). Perkembangan jumlah beban lalu lintas yang akan diterima oleh jalan mengakibatkan masa layanan dari lapisan perkerasan akan berkurang. Beban tekan dan beban tarik adalah dua pembebanan yang dialami oleh suatu lapisan perkerasan jalan. ASTM telah mengeluarkan pedoman dalam melakukan pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*) dengan kode ASTM D6931-12. Pengujian ini kuat tidak langsung lakukan karena tidak memungkinkan campuran campuran aspal untuk dilakukan pengujian kuat tarik langsung. Kuat tarik tidak langsung

dimaksudkan untuk melihat seberapa besar tegangan tarik yang dapat terjadi pada permukaan jalan dan menyebabkan deformasi pada permukaan jalan tersebut.

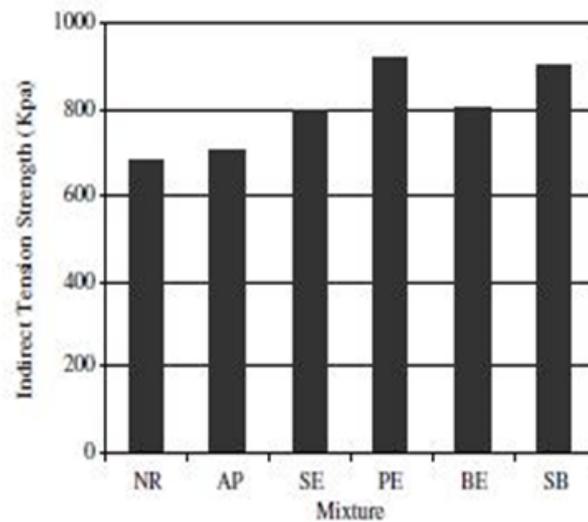
Telah banyak peneliti ahli konstruksi perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur dalam melakukan berbagai penelitian dan melaporkan kinerja campuran beraspal sehubungan dengan pengujian kuat tarik tidak langsung atau biasa dikenal dengan istilah *Indirect Tensile Strength* (ITS) yang menggambarkan kemampuan campuran beraspal dalam menerima beban tarik secara monoton. Banyaknya ahli konstruksi jalan yang telah melakukan penelitian dengan topik kuat tarik berupa kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*, ITS) campuran aspal karena masalah ini sehubungan masalah utama kerusakan perkerasan yakni retak yang terjadi pada perkerasan aspal yang diakibatkan oleh deformasi permanen. Tabel 1 memperllihatkan hasil pengujian kuat tarik tidak langsung yang berkenaan dengan hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan.

Ada tiga tekanan besar mekanis yang dapat menyebabkan terjadi retak yaitu retak pada suhu rendah, kelelahan (*fatigue*) dan *rutting*. Campuran aspal yang memiliki kekuatan tarik tinggi akan berkorelasi ketahanan terhadap retak yang meningkat, dimana diharapkan dalam penelitian ini retak itu dapat dikurangi dengan adanya penambahan filler menggunakan abu terbang yang merupakan hasil limbah pembakaran batu bara.

Tabel 1. Penelitian terdahulu kuat tarik tidak langsung

Peneliti	Hasil penelitian	Jenis campuran aspal
Birgisson dkk., 2008	Tegangan, regangan	Superpave
Tayfur dkk., 2007	Tegangan, regangan	Aspal dimodifikasi
Ahmadzade dkk, 2008	Tegangan, regangan dan indeks ITS	AC dengan additive
Abu dkk., 1997	Tegangan, regangan, tensile modulus	AC
S. Du, 2013	Tegangan	Aspal emulsi
Katman dkk, 2012	Tegangan	Aspal yang dikeringkan (RAP)
P. Ahmedzade dan M. Yilmaz, 2008	Tegangan	Aspal modifier polyester resin
Jinhai Yan, 2010	Tegangan	Aspal Emulsi
Budiamin dkk., 2015	ITS, Marshall	Buton Granular Asphalt (BGA) dan Flux Oil

Tayfur dkk, (2007) mengatakan campuran aspal yang mampu mentolelir regangan yang lebih tinggi sebelum kegagalan cenderung lebih tahan terhadap retak daripada campuran aspal yang tidak dapat mentoleransi regangan tinggi. Uji kuat tarik tidak langsung merupakan pengujian yang digunakan dalam menentukan efek bahan aditif dalam campuran aspal yang dimodifikasi. Gambar 1 menunjukkan kuat tarik belah campuran aspal dimodifikasi oleh (Tayfur dkk, 2007).



Gambar 1. *Indirect tensile strength* campuran yang dimodifikasi (Tayfur dkk, 2007)

Birgisson dkk, (2008) mengatakan perilaku retak (*cracking*) pada campuran aspal dapat dijelaskan dengan uji kuat tarik tidak langsung campuran aspal yang dibandingkan dengan metode prediksi dengan menggunakan *digital image correlation* (DIC). Kuat tarik tidak langsung dapat dilakukan pada benda uji dalam bentuk lingkaran penuh dan setengah lingkaran.

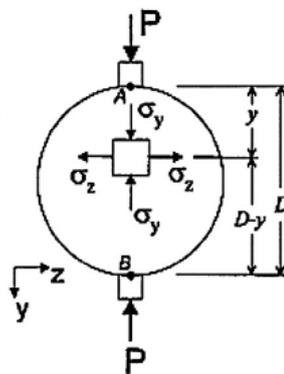
Sedangkan Ahmedzade P., dkk., (2008) mengatakan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung merupakan fungsi dari beban, diameter dan ketebalan benda uji, untuk benda uji berbentuk lingkaran penuh seperti Gambar 3. Nilai ITS benda uji lingkaran penuh diperlihatkan dalam persamaan 4.

Showen Du, 2013 mengatakan bahwa nilai kuat tarik aspal semen mastik sangat sensitif terhadap kadar air dan memiliki hubungan dengan

stabilitas pada pelaksanaan di lapangan setelah perkerasan aspal tersebut digunakan, sehingga kadar air optimum aspal emulsi dapat diprediksi dengan nilai ITS yang didapatkan.

Nilai ITS dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas relatif campuran aspal dalam hubungannya dengan pengujian desain campuran laboratorium dan untuk memperkirakan potensi terjadinya *rutting* atau retak. Hasil ini dapat juga digunakan untuk menentukan potensi untuk bidang perkerasan kerusakan kelembaban ketika hasil yang diperoleh pada kedua sampel berkondisi dan dikondisikan. Selain itu, hasil dari uji kuat tarik tidak langsung yang diperoleh berupa hubungan tegangan dan regangan dari campuran beraspal, khusus dalam penelitian ini adalah campuran aspal beton (AC-WC).

Nilai kuat tarik tidak langsung pada benda uji berbentuk selinder merupakan fungsi dari beban (P_{max}), tebal benda uji dan diameter yang dituliskan dalam persamaan 4.



Gambar 2. Diagram pembebanan uji ITS (Birgisson, dkk., 2008)

Dimana :

$$ITS = \frac{2P}{\pi D H} \dots\dots\dots(4)$$

ITS = Kuat tarik langsung dipusat benda uji (kN)

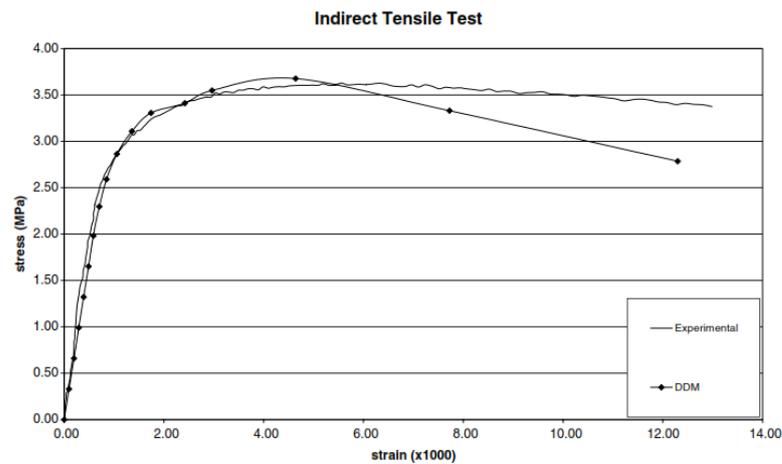
Pmax = beban maksimum (kN)

H = ketebalan benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

Gambar 3 menunjukkan hubungan tegangan – regangan pada campuran aspal superpave. Terlihat bahwa tegangan maksimum sebesar 3.60 MPa pada regangan 0.006. Kurva regangan – tegangan membentuk garis lurus sampai pada tegangan 2.5 MPa dengan regangan 0.001 MPa.

Penelitian Wong dkk, (2004) mengatakan bahwa rasio kuat tarik tidak langsung (ITSR) dapat digunakan untuk mengetahui kerentangan kelembaban campuran aspal (Katman, 2012). Kerusakan perkerasan fleksibel pada daerah tropis seperti di Indonesia yang disebabkan karena keretakan perkerasan yang terjadi akibat rendaman air. Campuran aspal sangat penting untuk diketahui sensitifitasnya terhadap air. Air memberikan efek atau pengaruh terhadap deformasi campuran aspal.



Gambar 3. Hubungan regangan akibat beban tarik dan tegangan tarik
(Sumber : Birgisson dkk, 2008)

Semakin tinggi nilai ITSr maka campuran aspal semakin tahan terhadap air begitupun sebaliknya campuran aspal dengan ITSr rendah menunjukkan semakin rentang terhadap air. Kerentanan kelembaban Campuran aspal (*moisture susceptibility of asphalt mixtures*) dievaluasi dengan AASHTO T283. ITSr lebih besar dari 0.7 lebih tahan terhadap retak (Ahmedzade dkk. 2008). Nilai ITSr berada pada kisaran antara 0 – 1. Ratio kuat tarik tidak langsung dapat ditulis dalam bentuk persamaan 6 :

Dimana :

ITScond = Nilai ITS terkondisikan atau basah (MPa)

ITSdry = Nilai ITS kering (MPa)

Menurut Birgisson, (2008) nilai ITS campuran aspal superpave sekitar 3.60 MPa. Pada campuran aspal menggunakan *aditif poliolefin* (PE) nilai *indirect tensile strength* dapat mencapai + 920 kPa, aspal normal (NR) sebesar 683 Kpa (Tayfur, 2005). Peneliti yang lain

mendapatkan nilai kuat tarik tidak langsung pada campuran aspal AC-10 sebesar 758 kPa dan AC-5 sebesar 489.41 kPa (Ahmazade, 2008).

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh (Ahmazade, 2008) dikemukakan pengaruh rendaman terhadap campuran aspal AC-10 dan didapatkan nilai ITS_{cond} sebesar 721,07 kPa dengan nilai ITSR sebesar 0,951 sedang campuran aspal AC-5 didapatkan ITS_{cond} sebesar 452.87 kPa dengan nilai ITSR sebesar 0,925 kPa dan AC-10 + 0,75% PR didapat ITS_{cond} sebesar 806,84 kPa dengan ITSR 0,955 kPa.

Gul & Guler (2014) mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen dari campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder dipadatkan yang dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat Marshall, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat. Sedangkan Shu *et al* (2008) mengatakan untuk mengevaluasi karakteristik retak pada campuran aspal digunakan metode Marshall dalam mendesain campuran aspal.

