



GO-38

PEMANFAATAN ABU JERAMI SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN AC-WC TERHADAP STABILITAS DAN KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG

Parea R. Rangan^{1*}, M. Tumpu², Yohans Sunarno³ dan Mansyur⁴

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Toraja, Indonesia

e-mail: pareausanrangan68@gmail.com

²Program Studi S2-Manajemen Bencana, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

e-mail: tumpumiswar@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Toraja, Indonesia

e-mail: yohanssunarno@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas SembilanBelas November, Kolaka, Indonesia

e-mail: mansyurusn14@gmail.com

ABSTRAK

Dalam pengembangan infrastruktur di daerah terpencil akan menghadapi persoalan keterbatasan penggunaan bahan pengisi (*filler*) sebagai salah satu bahan bangunan yang tergolong langka. Dalam penelitian ini akan dimanfaatkan material abu jerami sebagai bahan pengisi dalam campuran AC-WC. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas dan kuat tarik tidak langsung (tegangan) campuran AC-WC yang mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*). Penelitian ini berbentuk uji eksperimental di laboratorium. Kadar limbah abu jerami padi yang digunakan yaitu senilai 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30%, 20 dan 10% dari berat total agregat. Adapun kadar bitumen dalam campuran yaitu didapatkan dari proporsi agregat gabungan dan kadar bitumen yang digunakan berdasarkan dari berat total campuran, sesuai persyaratan ketentuan campuran laston lapis aus spesifikasi 2018 revisi 2. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas dan kuat tarik tidak langsung (tegangan) campuran AC-WC yang mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*).

Kata kunci: stabilitas, kuat tarik tidak langsung, abu jerami, filler

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris penghasil bahan pangan diantaranya beras yang berasal dari tanaman padi. Limbah yang ditinggalkan tanaman padi cukup banyak yaitu batang (jerami) dan sekam. Sekam padi dan batang padi (jerami) bila dibakar dengan suhu tertentu menghasilkan silika amorf yang bersifat reaktif sehingga potensial digunakan sebagai bahan potensial digunakan sebagai bahan mikrosilika. Pemanfaatan limbah untuk bahan konstruksi akan menunjang pengadaan bahan konstruksi, meningkatkan mutu bahan konstruksi, memberikan nilai tambah dan nilai guna limbah, menciptakan lapangan pekerjaan, dan mengurangi dampak negatif lingkungan (Somna *et al.*, 2011).

Limbah jerami padi memiliki banyak masalah, diantaranya menyebabkan polusi udara dan dekomposisi organik alami yang menghasilkan emisi gas metana. Konversi limbah ini menjadi abu dapat menawarkan kemungkinan untuk kembali menggunakannya dalam sistem pembuatan semen (Rosello J. *et al.*, 2017). Abu jerami yang dihasilkan dari pembakaran jerami diberbagai daerah menjadi limbah yang cukup besar dan sering ditemukan di persawahan setelah musim panen berakhir.

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. Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas yang menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (*additive*) ke dalam campuran.

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). Banyak material pozzolan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal diantaranya yaitu abu terbang, abu jerami dan bahan-bahan lainnya yang lolos saringan no. 200. Dalam penelitian ini akan dimanfaatkan material abu jerami sebagai bahan pengisi dalam campuran AC-WC.

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*, 2015). Penelitian ini bertujuan:

1. Menganalisis nilai karakteristik Marshall campuran AC-WC yang mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*).
2. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*).
3. Merumuskan model hubungan hubungan antara nilai stabilitas dan kuat tarik tidak langsung (tegangan) campuran AC-WC yang mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*).

TINJAUAN PUSTAKA

Isu Penggunaan Abu Jerami Pada Campuran Beraspal

Inovasi teknologi diperlukan untuk mendukung perkembangan infrastruktur dalam dunia teknik sipil, termasuk inovasi teknologi pada campuran beraspal. Dalam pengembangan infrastruktur di daerah terpencil akan menghadapi persoalan keterbatasan penggunaan bahan pengisi (*filler*) sebagai salah satu bahan bangunan yang tergolong langka. Di sisi lain daerah terpencil tersebut memiliki kekayaan alam berupa limbah jerami padi, sedangkan keterbatasan infrastruktur yang ada menyebabkan bahan-bahan bangunan menjadi sulit diperoleh. Penelitian ini akan menitik beratkan hasil eksperimental penggunaan abu jerami padi sebagai bahan bangunan alternatif dalam campuran beraspal, yang bertujuan untuk mengurangi jumlah abu batu. Substitusi abu jerami padi dan abu batu dalam campuran beraspal diduga dapat memberikan kontribusi pada stabilitas dan kuat tarik tidak langsung pada campuran AC-WC.

Konstruksi AC-WC merupakan 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.



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 (Sjahdanulirwan M, Nono, 2009).

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah abu jerami padi juga muncul. Kedua masalah ini merupakan suatu tantangan bagi peneliti untuk melakukan penelitian yang bersifat aplikatif agar masalah tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penggunaan limbah abu jerami padi dapat dijadikan bahan pengisi (*filler*) dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran AC-WC.

Abu Jerami Padi

Jerami adalah limbah hasil usaha pertanian berupa daun, tangkai, dan daun tanaman yang telah kering, setelah biji-bijiannya dipisahkan. Abu jerami padi adalah hasil pembakaran dari jerami padi yang merupakan salah satu limbah terbesar pertanian di Indonesia.

Tabel 1. Kebutuhan kandungan kimia abu jerami (Syibral M. dkk., 2014)

Kandungan kimia	Berat dalam persen
SiO ₂	65,92
AL ₂ O ₃	1,78
Fe ₂ O ₃	0,2
CaO	2,4
MgO	3,11
SO ₄	0,69

Tabel 2. Kandungan jerami padi (Karimi, 2006)

Komponen	Kandungan (%)
Hemiselulosa	27,5
Selulosa	39,1
Lignin	12,5
Abu	11,5

Menurut Syibral M. dkk., (2014), abu jerami padi berasal dari jerami padi yang digiling atau ditumbuk halus. Abu jerami padi dapat dimanfaatkan untuk abu gosok, bahan ameliorisasi tanah asam, dan bahan campuran dalam pembuatan semen hidrolik serta dapat dimanfaatkan campuran batako/mortar, beton, dan campuran batu bata press. Tabel 1 memperlihatkan kebutuhan kandungan kimia abu jerami.

Biomassa berselulosa terbentuk dari tiga komponen utama yakni selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan komponen utama yang terkandung dalam dinding sel tumbuhan dan mendominasi hingga 50% berat kering tumbuhan. Jerami padi diketahui memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mencapai 39,1% berat kering, 27,5% hemiselulosa dan kandungan lignin 12,5%. Komposisi kimia limbah pertanian maupun limbah kayu tergantung pada spesies tanaman, umur tanaman, kondisi lingkungan tempat tumbuh dan langkah pemrosesan. Kandungan jerami dapat dilihat pada Tabel 2. Abu silika adalah kristalin yang halus dimana komposisi silika yang lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi.

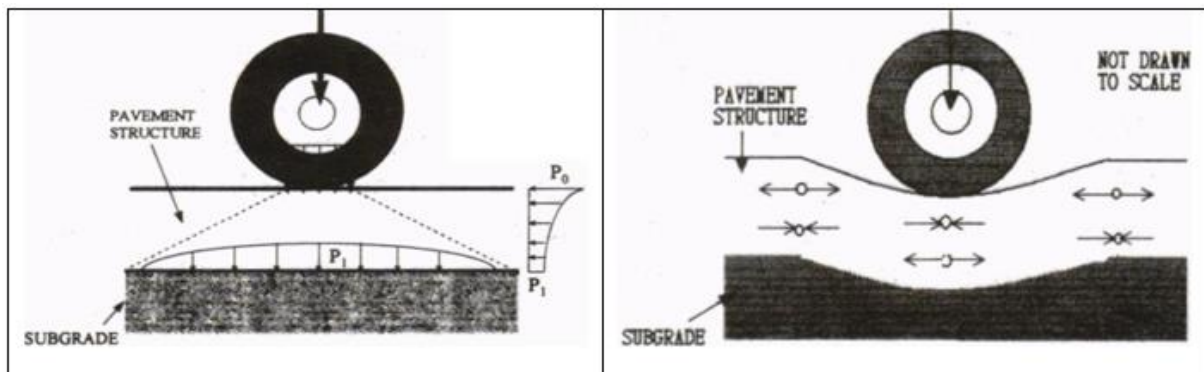
Jerami merupakan limbah pertanian terbesar serta belum sepenuhnya dimanfaatkan karena adanya faktor teknis dan faktor ekonomis yang dapat terjadi dengan pemanfaatan limbah jerami ini. Pada sebagian petani, jerami sering digunakan sebagai mulsa pada saat menanam palawija. Hanya sebagian kecil petani menggunakan jerami sebagai pakan ternak alternatif di kala musim kering karena sulitnya mendapatkan hijauan. Di lain pihak jerami sebagai limbah pertanian, sering menjadi permasalahan bagi petani, sehingga sering di bakar untuk mengatasi masalah tersebut. Menurut Badan Pusat Statistik, produksi padi nasional mencapai 71,29 juta ton pertahun pada tahun 2011. Sedangkan produksi jerami padi dapat mencapai 12 - 15 ton per hektar per panen, bervariasi tergantung pada lokasi dan jenis varietas tanaman padi yang digunakan (Berita Resmi Statistik, 2013).

Respon Perkerasan Akibat Pembebanan

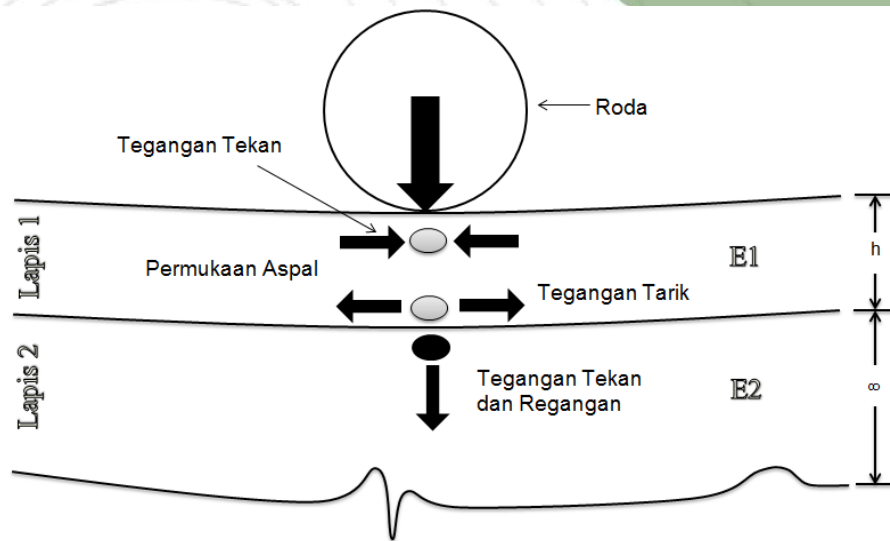
Spesifikasi Khusus Bina Marga, Indonesia (2010) tentang campuran beraspal panas, dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan campuran beraspal panas dengan aspal yang dimodifikasi adalah campuran agregat dan aspal dari jenis Asbuton, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan. Pekerjaan ini mencakup pembuatan lapisan campuran aspal modifikasi untuk lapis permukaan antara dan lapis permukaan (lapis aus), yang dihampar dan dipadatkan di atas lapis pondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan memenuhi garis, ketinggian, dan potongan memanjang dan potongan melintang yang ditunjukkan dalam gambar Rencana. Saat ini perkerasan beraspal kinerjanya semakin menurun karena diakibatkan oleh pembebanan yang berlebihan dalam masa layan. 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 1.

Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Cronney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. 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 :

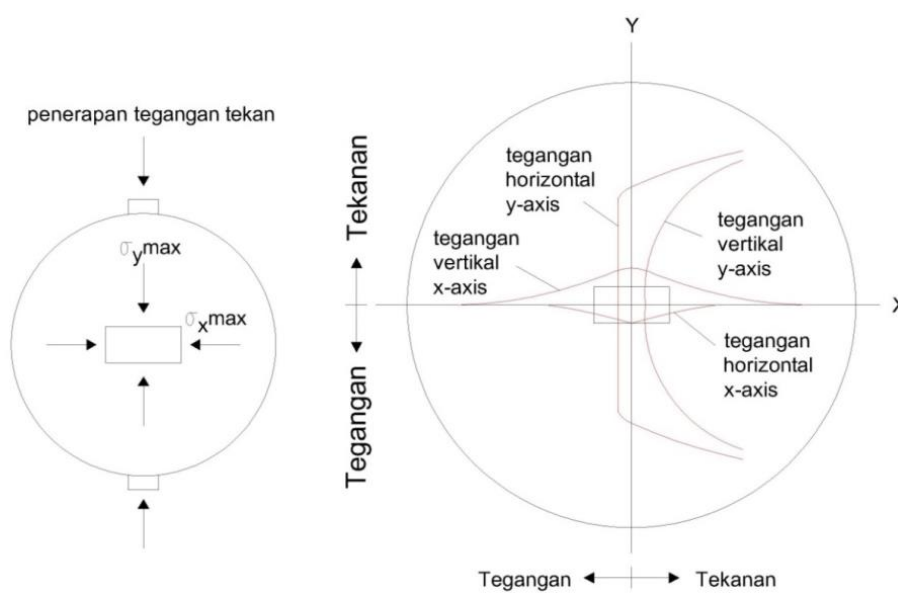
- Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- Tegangan tarik horizontal dan reganganyang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.



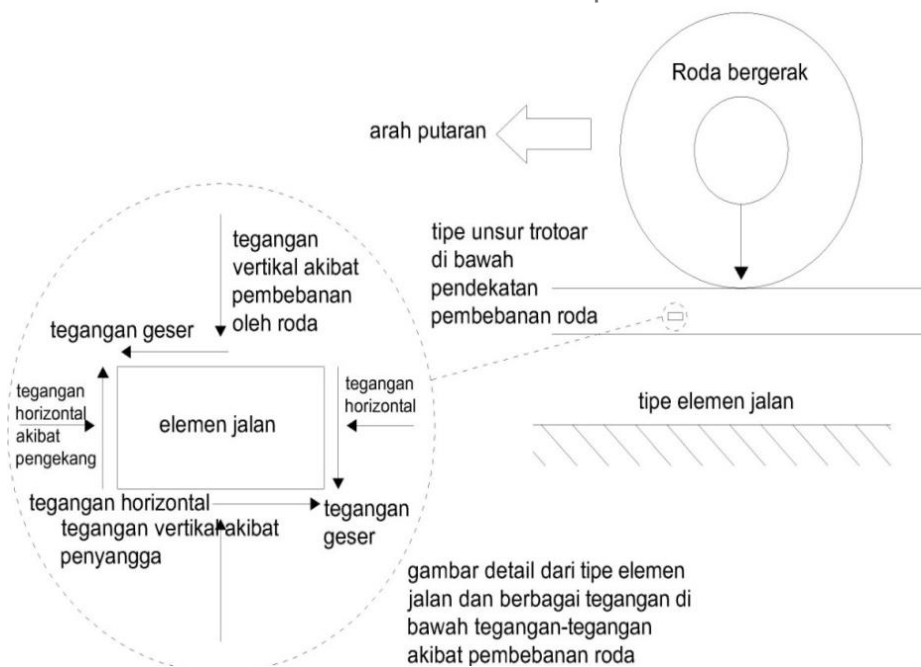
Gambar 1. Kinerja perkerasan lentur



Gambar 2. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



Gambar 3. Distribusi tegangan dan tekanan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)



Gambar 4. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)

Gambar 2 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.

Selain itu, adanya penyederhanaan model dengan asumsi kondisi lalu lintas sebagai pembebanan statis dan karakterisasi pada kondisi linier-elastis isotropik dari bahan itu sendiri. Dalam Gambar 2, 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 3 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan. Berdasarkan Gambar 3 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 ($\sigma_x = \max$). 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 4 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan. Berdasarkan Gambar 4 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.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan September 2023 sampai Bulan November 2023.



Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari Sungai Saddang tepatnya di Sungai Mata Allo, Kabupaten Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.
3. Abu Jerami diperoleh dari hasil buangan limbah pemotongan padi yang ada di Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan dan telah mengalami proses pembakaran pada suhu ± 500 derajat Celcius.

Rancangan Penelitian

Adapun penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium diawali dengan melakukan persiapan peralatan dan material yang akan digunakan, dilanjutkan dengan penelitian karakteristik bahan berupa agregat, limbah plastik dan aspal.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel (briket) untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO). Dibatasi sampel perkerasan aspal dengan bahan pengikat berupa aspal minyak dengan penetrasi 60/70. Pembuatan sampel KAO dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan kadar bitumen yang berbeda-beda berdasarkan perhitungan kadar aspal efektif. Setelah nilai KAO didapatkan, langkah berikutnya adalah pembuatan sampel dengan kandungan limbah abu jerami padi berdasarkan perbandingan antara abu batu (AB) dengan abu jerami (AJ) adalah 100%:0%, 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, 60%:40%, 50%:50%, 40%:60%, 30%:70%, 20%:80%, 10%:90% dan 0%:100%. Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal sesuai SNI 06-2489-1991.

Setelah benda uji dinyatakan siap yaitu benda uji dalam kondisi KAO dan telah mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*), kemudian dilakukan pengujian-pengujian ; ketahanan terhadap pelepasan butir (*cantabro*), karakteristik Marshall, kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*), XRF dan XRD (komposisi senyawa dominan) dan pengujian statistik (*uji-t*) untuk mengetahui karakteristiknya.

Pengujian Karakteristik Campuran Aspal

Kehilangan berat pada pengujian *cantabro* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

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

Dimana :
 M_o = Berat sebelum diabrasi (*gram*)
 M_i = Berat setelah diabrasi (*gram*), dan
 L = Persentase kehilangan berat (%)

Nilai Marshall Quotient diperoleh dengan rumus :

$$MQ = \frac{S}{R} \quad (2)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas (*kg*)
 R = Nilai flow (*mm*)
 MQ = Nilai Marshall Quotient (*kg/mm*)

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

$$ITS = \frac{2P}{\pi D H} \quad (3)$$

Dimana :
 ITS = Kuat tarik langsung dipusat benda uji (*MPa*)
 P_{max} = Beban maksimum (*kN*)
 t = Ketebalan benda uji (*mm*)
 d = Diameter benda uji (*mm*)

Jumlah Benda Uji

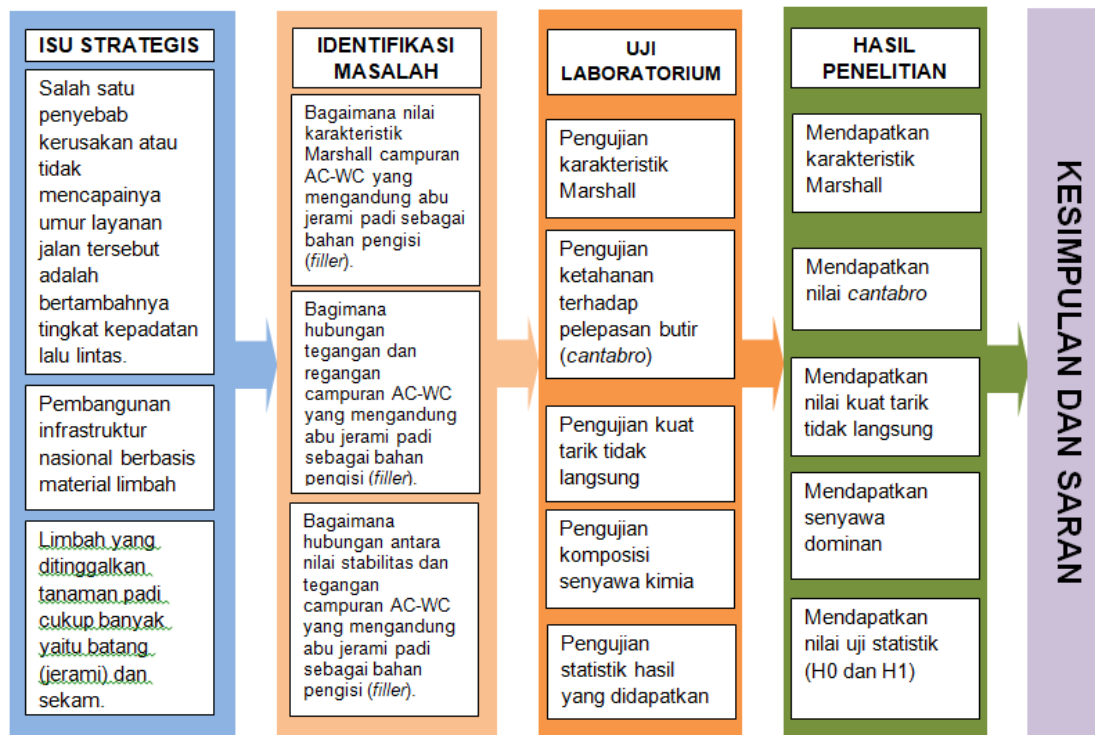
Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal optimum adalah sebesar 30 buah yaitu masing-masing 5 buah benda uji untuk kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5%. Penentuan variasi kadar aspal didasarkan pada perhitungan kadar aspal efektif. Tabel 3 masing-masing memperlihatkan jumlah benda uji untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC yang menggunakan abu jerami padi sebagai filler yang persentasenya telah ditentukan dalam variabel penelitian ini. Terlihat pada Tabel 3 jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC yang mengandung limbah abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*) adalah sebanyak 200 buah.

Kerangka Pikir Penelitian

Gambar 5 memperlihatkan kerangka pikir penelitian.

Tabel 3. Jumlah benda uji (dalam kondisi KAO) limbah abu jerami

No.	Kadar abu jerami (%)	Jenis pengujian/jumlah benda uji (buah)			
		Marshall	Cantabro	ITS	XRF dan XRD
1	10	5	5	5	5
2	20	5	5	5	5
3	30	5	5	5	5
4	40	5	5	5	5
5	50	5	5	5	5
6	60	5	5	5	5
7	70	5	5	5	5
8	80	5	5	5	5
9	90	5	5	5	5
10	100	5	5	5	5
Jumlah (buah)		50	50	50	50
Total (buah)		200			



Gambar 5. Kerangka pikir penelitian



HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Pemanfaatan limbah abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran AC-WC.
2. Mengetahui besarnya kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.
3. Merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas dan kuat tarik tidak langsung (tegangan) campuran AC-WC yang mengandung abu jerami padi sebagai bahan pengisi (*filler*).

DAFTAR PUSTAKA

- Chen J. S. *et al.* 2001. Evaluation of Geosynthetic Applied to Flexible Pavements. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation studies, vol.4, No.1, 2001.
- Croney, D. (1977). "The Design and Performance of Road Pavements. Transport and Road Research Laboratory", London.
- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2005). Persyaratan Teknik Bandar Udara. Petunjuk Pelaksanaan Pemeliharaan Konstruksi Landas Pacu (Runway), Landas Hubung (Taxiway) dan Landas Parkir (Apron) serta Fasilitas Penunjang Bandar Udara Nomor : SKEP/78/VI/2005.
- Hermadi M., Sjahdanulirwan M., 2008. Usulan spesifikasi campuran beraspal panas asbuton Lawele untuk perkerasan jalan. Jurnal jalan– jembatan, Vol. 25 No. 3, hal. 327 – 349.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Malasyi, Syibral, dkk. 2014. Analisis Pengaruh Abu Jerami Terhadap Kuat Tekan Beton. Teras Jurnal Vol. 4 : 2088-0561.
- Rosello J. *et al.* 2017. Rice straw ash : A Potential Pozzolan Supplementary Material for Cementing Systems. Industrial Crops and Products 103 (39 – 50).
- Shu X., Huang B., Vukosavljevic D., 2008. Laboratory evaluation of fatigue characteristics of recycled asphalt mixture. Science Direct, Construction and Building Materials, 22, hal. 1323 -1330.
- Somna K. *et al.* 2011. NaOH-Activated Ground Fly Ash Geopolymer Cured at Ambient Temperature. Fuel 90 : 2118-2124.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015.
- Walubita, Lubinda F., Ven, Martin F C van de, 2000. Stresses and Strains in Asphalt-Surfacing Pavements.