

RANCANGAN CAMPURAN ASPAL DINGIN MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT, ASBUTON BUTIR, DAN AGREGAT BATU GAMPING

Laone¹, M. W. Tjaronge², R. Irmawaty³ dan M. Hustim⁴

¹Mahasiswa Program Studi S3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jln. Poros Malino KM. 6, Gowa, Email: laone71@yahoo.com

²Professor, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jln. Poros Malino KM. 6 Gowa, Email: tjaronge@yahoo.co.jp

³Asosiasi Professor, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jln. Poros Malino KM. 6 Gowa, Email: rita_irmaway@yahoo.co.id

⁴Asosiasi Professor, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jln. Poros Malino KM. 6 Gowa, Email: muraliahustim@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian yang dirancang ini merupakan serangkaian pengujian laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis penggunaan Semen Portland Komposit atau Portland Composite Cement (PCC) dan Asbuton Butir dalam Campuran Aspal Dingin (CAD) menggunakan agregat batu gamping khususnya terkait dengan durabilitas dan kinerja umur awal campuran. Rancangan campuran digunakan untuk lapis aus perkerasan jalan aspal beton. Semua benda uji dibuat dengan kadar bitumen sebanyak 8%. Asbuton butir LGA 50/30 yang digunakan sebanyak 8% dari berat total sebagai pengganti bitumen aspal emulsi dan pengganti filer/ abu batu gamping. Sementara itu, PCC dengan variasi 0%, 1%, 1.5% dan 2% dari berat total digunakan sebagai pengganti filler batu gamping. Hasil yang diharapkan penelitian ini adalah untuk mendapatkan campuran dingin yang optimal dengan jumlah tertentu dari material yang digunakan. Selanjutnya dibuat suatu hubungan antara jumlah material dengan tingkat durabilitas dan kinerja umur awal campuran.

Kata kunci : CAD, PCC, Asbuton, durabilitas, umur awal

1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mendukung pembangunan berkelanjutan, *Federal Highway Administration Departement of Transportasi United State / FHWA DOT-US (2016)*[1] merumuskan strategi pembangunan jalan yang keberlanjutan yang antara lain adalah mengurangi konsumsi energi dan emisi yang dihasilkan oleh campuran beraspal dan mengurangi penggunaan material yang berdampak pada transportasi. Pengurangan energi dan emisi antara lain dapat dilakukan dengan pendekatan mengurangi temperatur pemanasan campuran aspal melalui pemanfaatan teknologi CAD dan pemanfaatan limbah. Pengurangan pemanfaatan material yang berdampak pada transportasi dilakukan dengan pendekatan meningkatkan penggunaan material lokal.

Di Indonesia, potensi material lokal untuk kebutuhan pembangunan jalan belum optimal dimanfaatkan, antara lain meliputi aspal alam dan agregat batu gamping. Aspal alam yang berada di Pulau Buton-Provinsi Sulawesi Tenggara memiliki potensi sebesar 677 juta ton. Potensi aspal alam buton ini diperkirakan setara dengan 150 juta ton aspal minyak dan belum optimal dimanfaatkan untuk pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia. Selama ini Asbuton diekspor ke luar negeri untuk memenuhi permintaan pembangunan infrastruktur jalan. Asbuton alam dengan deposit yang berlipah tersebut, perlu terus ditingkatkan pemanfaatannya untuk mendukung kebutuhan pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia. Hal ini mengingat kebutuhan aspal minyak untuk pembangunan jalan di Indonesia tidak sebanding dengan ketersediaan aspal minyak yang dihasilkan oleh Pertamina. Kebutuhan aspal di Indonesia untuk tahun 2015 adalah 1.325.709 MT dimana 67% berasal dari impor, 18% diproduksi PT. Pertamina, dan 15% sisanya di impor dari luar negeri. Kekurangan kebutuhan aspal minyak untuk pembangunan jalan semestinya tidak diimpor dari luar negeri tapi ditutupi dari produksi Asbuton (Hermawan et al 2015) [2].

Sementara itu, potensi sumber daya batu gamping di Indonesia sekitar 639.36 Milyar Ton (Pusat Sumber Daya Geologi-Kementerian ESDM-RI, 2013)[3]. Beberapa daerah di Indonesia khususnya daerah-daerah yang terbentuk dari formasi batuan karts, seperti Pulau Muna Sulawesi Tenggara, tidak memiliki batuan beku (andesit, basalt, dan granit) sebagai agregat standar perkerasan jalan. Agregat batu gamping yang ada dianggap tidak memenuhi standar untuk kebutuhan pembangunan jalan, sehingga agregat untuk pembangunan jalan harus mendatangkan dari luar daerah. Hal tersebut tentu akan berdampak pada satuan biaya pembangunan jalan yang lebih tinggi.

Dalam upaya meminimalisasi dampak emisi, teknologi CAD telah mengalami perkembangan secara dramatis di seluruh dunia. CAD memiliki keuntungan terhadap lingkungan dan ekonomi dibanding dengan campuran aspal panas. Teknologi CAD merupakan teknologi yang sifatnya padat karya dan sangat cocok bagi daerah-daerah yang tidak dapat dijangkau oleh layanan *Asphalt Mix Plan* (AMP). Kondisi geografis Indonesia yang merupakan daerah kepulauan dan adanya kebijakan pembangunan nasional untuk membangun dari desa maka untuk mendukung pembangunan infrastruktur di desa yang berbasis pada partisipasi masyarakat sangat perlu untuk dikembangkan pemanfaatan teknologi CAD.

CAD memiliki kinerja yang kurang memadai dan rentan terhadap kerusakan pada awal layanan akibat curah hujan (Oruc S. et al, 2007)[4]. Untuk memperbaiki sifat mekanis CAD, telah banyak dilakukan dengan penambahan semen. Penelitian pemanfaatan semen dalam CAD umumnya menggunakan *Ordinary Portland Cement* (OPC). Dalam upaya mendukung pemanfaatan bahan limbah untuk pembangunan Infrastruktur jalan, maka perlu memanfaatkan semen *portland* komposit atau *Portland Composite Cement* (PCC) yang mengandung bahan anorganik limbah *fly ash*.

CAD menggunakan semen dapat meningkatkan stabilitas Marshall dan modulus kekakuan, dimana modulus kekakuan CAD menggunakan semen tersebut lebih rendah dari pada modulus kekakuan campuran aspal panas (Alvaro G. et al., 2013 [5]). Dalam jangka panjang, perilaku CAD menggunakan semen akan lebih baik dengan meningkatnya modulus dinamis campuran (Dolzycki B., et al., 2017; Niaz Y. and Jalili M., 2009 [6,7]). Dalam kondisi kering maupun kondisi akibat rendaman, penggunaan semen dalam CAD meningkatkan kuat tarik tidak l(Jian Xu et al., 2011; Niaz Y. and Jalili M., 2009 [8, 7]).

Terkait dengan perilaku penggunaan Asbuton dalam campuran beraspal, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kelebihan penggunaan Asbuton adalah meningkatkan modulus elastisitas, meningkatkan kuat tekan bebas, ketahanan terhadap rutting yang baik (stabilitas dinamis meningkat), mengurangi masalah *bleeding*, dan fleksibilitas yang cukup. Sementara Kelemahan penggunaan Asbuton adalah pelepasan butiran lebih tinggi namun masih dalam persyaratan, dan cenderung lebih rapuh (Gaus A. et al, 2015, Affandi F., 2010, dan Suaryana N., 2016)[9,10,11]. Sementara itu, menurut Hermadi M. et al (2006) [12], CAED dengan Asbuton yang menggunakan agregat batu gamping memiliki Stabilitas lebih rendah dibandingkan dengan CAED dengan Asbuton menggunakan agregat standar.

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan material lokal berupa Asbuton alam dan batu gamping serta pemanfaatan semen *portland* komposit maka perlu dibuat rancangan penelitian untuk menganalisis kelayakan CAD menggunakan material tersebut dan menemukan proporsi jumlah tertentu dari material yang menghasilkan kinerja mekanis yang optimal baik pada umur awal maupun durabilitasnya. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kinerja mekanis pada umur awal CAD yang meliputi stabilitas, kuat tarik, kuat tekan, modulus dinamis, dan kelelahan.
2. Menganalisis durabilitas CAD terhadap pengaruh air dan penuaan jangka panjang.
3. Menganalisis hubungan antara kinerja mekanis campuran terhadap mikrostruktur dan karakteristik mineralogi CAD.
4. Menemukan proporsi penggunaan PCC dan Asbuton dalam CAD yang menghasilkan kinerja campuran yang optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Campuran Aspal Dingin

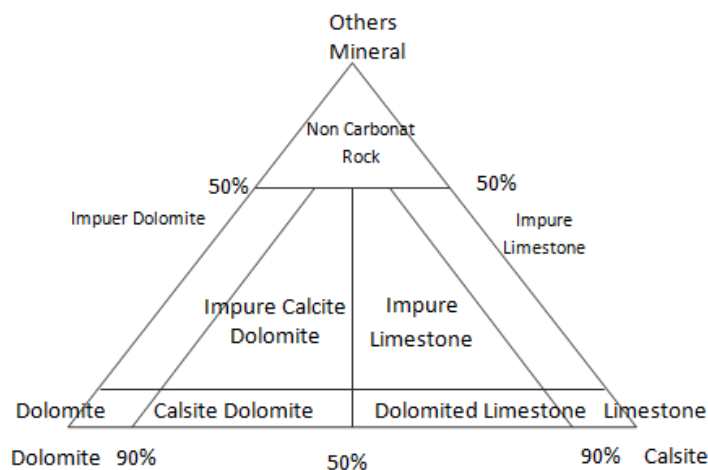
CAD merupakan campuran agregat dan aspal emulsi yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan dingin. Campuran aspal emulsi dingin dirancang berkenaan dengan kadar aspal, rongga udara, stabilitas, kelenturan dan keawetan guna mendukung lalu lintas rencana < 1 juta ESA. Persyaratan CAD menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Dirjen Bina Marga No. : 001-05/BM/2006 (DPU,2006) [13] ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan campuran beraspal dingin dengan peremaja aspal emulsi

No	Sifat campuran	Persyaratan
1	Jumlah tumbukan	2 x 50
2	Rongga diantara mineral agregat (VMA), (%)	Min. 16
3	Rongga dalam campuran (VIM) Marshall, (%)	3 – 12
4	Stabilitas Marshall pada 22 °C, (kg)	Min. 450
5	Stabilitas sisa setelah perendaman 4 x 24 jam (%)	Min. 60
6	Tebal film aspal, mikron	Min. 8
7	Penyelimutan agregat kasar , %	Min. 75

2.2. Karakteristik Batu gamping

Batu gamping (*limestone*) dan dolomit merupakan batuan karbonat. Batuan karbonat pada umumnya terdiri dari 3 (tiga) mineral yakni kalsium karbonat (CaCO_3) yang umumnya berupa mineral kalsit dan jarang berupa mineral aragonit; kalsium magnesium karbonat ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCaCO}_3$ atau $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dalam bentuk mineral dolomit; dan Silika (SiO_2) yang umumnya berupa mineral kuarsa, *kalsedoni*, atau *chert* (Bowen dan Evans, 1973 [14]). Freas et al 2006 [15] mengklasifikasi mineralogi batuan karbonat dengan mempertimbangkan variasi antara jumlah kalsit, dolomit, dan nonkarbonat yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1.

mineralogi batuan karbonat

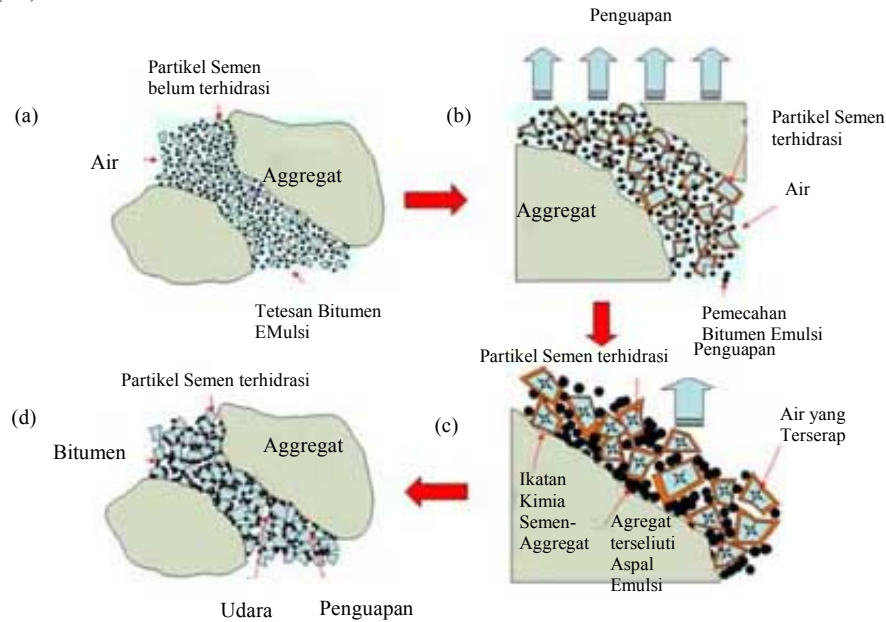
Klasifikasi

2.3. Campuran Aspal Dingin yang mengandung Asbuton

Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Dirjen Bina Marga, 2006 [16] bahwa aspal yang dimodifikasi dengan Asbuton dan bitumen Asbuton modifikasi memiliki kelebihan secara mekanistik, berhubungan dengan modulus resilien dan modulus elastisitas. Makin banyak penambahan Asbuton butir maka modulus resilien campuran beraspal makin tinggi. Modulus resilien campuran perlu dibatasi maksimum 3750 MPa untuk mencegah campuran beraspal tidak mudah rapuh khususnya pada campuran aspal dengan ketebalan nominal sekitar 4 cm (misal untuk lapis overlay AC-WC) sehingga penggunaan Asbuton butir harus dibatasi. Dengan modulus resilien maksimum sebesar 3750 MPa, penggunaan Asbuton butir tipe 5/20 dibatasi sebanyak 5%, tipe 15/20 sebanyak 7%, tipe 15/25 sebanyak 8,5% dan tipe 20/25 sebanyak 10,5%.

2.4. Campuran Aspal Dingin yang mengandung Semen

Proses perkerasan aspal emulsi dan semen dalam campuran lebih lanjut dijelaskan oleh Garcia A. et al (2012) [17] yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah pencampuran, campuran antara agregat, air, tetesan aspal dan semen akan membentuk campuran yang homogen (Gambar 2a). Kedua, akan mengubah pH emulsi (Gambar 2b). Pada kontak semen dengan air, pH fase cair meningkat hingga 12-13 (Birchall JD et al 1978 [18]; Jonsson B. et al 2004 [19]).



Gambar 2. Skema proses pengerasan aspal emulsi komposit

CAD yang menggunakan semen kurang kecil dari 0.5%, memiliki karakteristik yang buruk baik ketahanannya terhadap air maupun kekuatan tarik pada umur awal. CAD yang menggunakan semen yang lebih besar dari 1.5% memiliki ketahanan terhadap deformasi permanen yang tetap. Kadar semen optimum pada CAD adalah sebesar 1.5% (Jian Xu et al., 2011)[8].

3. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

3.1. Material dan Alat

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Batu Gamping yang berasal dari Pulau Muna - Provinsi Sulawesi Tenggara, Aspal Emulsi CSS-1h, Asbuton Butir LGA 50/30, dan Semen *Portland*. Batu gamping sebagai Agregat Kasar, Agregat Halus, dan Filler. Aspal Emulsi CSS-1h sebagai bahan pengikat aspal yang utama, Asbuton butir LGA 50/30 sebagai pengganti sebagian bitumen aspal emulsi dan pengganti sebagian filler dan abu batu gamping. PCC yang digunakan lolos ayakan No. 200 karena berperan sebagai pengganti sebagian filler batu gamping.

Karakteristik fisik agregat kasar batu gamping meliputi Abrasi Los Angeles 27.5%, pH 9.4, berat jenis 2.53 gr/cc, dan penyerapan air 2.03%. Karakteristik fisik agregat halus batu gamping meliputi berat jenis 2.5 gr/cc dan penyerapan air 3.94% (Balitbang kab. Muna dan CoT FT-UH, 2017) [20]. Semen PCC yang digunakan berasal dari salah satu produsen semen di Indonesia dengan hasil laboratorium yang dilaksanakan tahun 2016 menunjukkan bahwa karakteristik mineralogi PCC meliputi: 61,79% CaO, 18,39% SiO₂, 5,15% Al₂O₃, 3,41% Fe₂O₃, 1,81% SiO₃, 0,99% MgO, 4,61% *Loss Ignition*, and 2,78% *Insoluble Residue*. Karakteristik fisik Aspal emulsi CSS-1h menurut hasil pengujian yang dilaksanakan oleh Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional XIII Makassar Tahun 2016 meliputi Penetrasi 101, kadar residu aspal 64.35 %, dan kadar air 35.65%.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1) Alat pengujian Marshall; 2) *Universal Testing Machine* (UTM) yang dilengkapi dengan LVDT dan data logger untuk pengujian kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan bebas 3)Mesin *Cooper Research Technology* HYD 25 untuk menguji modulus kekakuan tarik tidak

langsung dan uji kelelahan 4) Mesin *Rigaku Miniflex II XRD*; dan 5) Mesin *vega3tescan SEM-EDX*.

3.2. Metode Penelitian

3.2.1. Rancangan Benda Uji

Penelitian ini rencana dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin. Penelitian ini rencana dilaksanakan selama 4 bulan dimulai dari bulan Oktober 2018 sampai Februari 2019.

Penelitian ini didahului dengan penentuan karakteristik material penyusun CAD yang meliputi batu gamping, aspal emulsi CSS-1h, semen *portland* komposit, dan Asbuton butir LGA 50/30. Karakteristik material batu gamping, aspal emulsi CSS-1h, dan PCC diperoleh berdasarkan hasil penelitian terdahulu. Sedangkan karakteristik Asbuton butir LGA 50/30 yang meliputi kadar residu aspal akan dilakukan pengujian berdasarkan pedoman SNI 03 – 3640 [21], kadar air Asbuton berdasarkan pedoman SNI 06-2490-1991 [22], dan ukuran butir Asbuton berdasarkan pedoman SNI 03 – 4142 [23].

Parameter kinerja mekanis campuran ditentukan berdasarkan pengujian stabilitas Marshall, pengujian kuat tarik tidak langsung, pengujian kuat tekan bebas, pengujian modulus kekakuan tarik tidak langsung, dan pengujian kelelahan. Karakteristik mineralogi campuran dilakukan melalui pengujian *X-ray Diffraction (XRD)*, dan karakteristik mikrostruktur CAD dilakukan melalui pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Pengujian XRD dan SEM bertujuan untuk menganalisis hubungan karakteristik mikroskopik dan senyawa kimia yang terbentuk dalam campuran terhadap kinerja mekanis campuran.

Semua benda uji dibuat pada kadar optimal residu aspal emulsi sebesar 8% (Balitbang Kab. Muna dan CoT FT-UH, 2017)[20]. Penentuan kadar asbuton optimal dilakukan dengan pengujian Marshall menggunakan variasi kadar asbuton sebesar 6%, 7.5%, 9%, 10,5%, dan 12%. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung, pengujian modulus kekakuan tarik tidak langsung, dan pengujian kelelahan pada benda uji CAD pada kadar optimum Asbuton dan penggunaan PCC dengan variasi 1%, 1.5%, dan 2% dari berat total.

3.2.2. Metode Pengujian dan Analisa Data

Standar pengujian untuk pengujian Marshall berpedoman pada SNI 06-2489-1991 [24], pengujian kuat tekan bebas atau *Unconfine Compressive Strength (UCS)* berpedoman pada ASTM D 2166 [25], pengujian kuat tarik tidak langsung atau *Indirect Tensile Strength (ITS)* berpedoman ASTM D 6931-12 [26], pengujian modulus kekakuan tarik tidak langsung atau *Indirect Tensile Modulus Stiffness (ITSM)* berpedoman pada BS DD 213-1993 [27], dan pengujian kelelahan berpedoman pada BS EN 12697-24:2012 [28].

a. Pengujian stabilitas Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengukur stabilitas, *flow*, dan Marshall Quotien (MQ) yang menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban. Pengujian Marshall menggunakan alat UTM yang dilengkapi dengan LVDT Vertikal dan *Data Logger* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Pengujian Stabilitas Marshall dengan UTM

Perhitungan MQ yang menggambarkan kekakuan marshall benda uji digunakan persamaan 1.

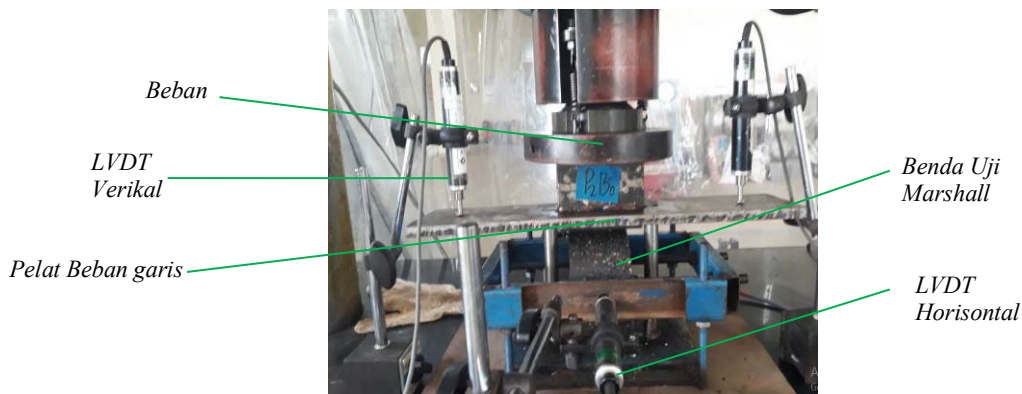
$$MQ = \frac{SM}{F} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- MQ = Kekakuan Marshall (Kg/mm)
- SM = Beban Maksimum (Kg)
- F = kelelahan (mm)

b. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung

Benda uji Kuat Tarik Tidak Langsung dibuat dengan variasi dari P0B0, P0Bopt, P1Bopt, P1.5Bopt, dan P2Bopt. Perilaku pengujian terdiri dari kondisi umur awal, kondisi rendaman, dan kondisi penuaan oven jangka panjang, sehingga jumlah benda uji yang dibutuhkan sebanyak 45 sampel. Skema pengujian kuat tarik tidak langsung ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 3. Skema pengujian kuat tarik tidak langsung

Penentuan ITS dan Kemiringan Modulus Kekakuan dinalisis menggunakan persamaan (2) dan (3).

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

$$KMK = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- ITS = Kuat Tarik Tidak Langsung (MPa)
- P = Beban Maksimum (N)
- t = Ketebalan benda Uji (mm)
- D = Diameter Benda Uji(mm)
- KMK = Kemiringan Modulus Kekakuan (N/mm)
- Δ = Perpindahan Horisontal / Vertikal (mm)

c. Pengujian kuat tekan bebas

Benda uji Kuat Tekan Bebas berbentuk silinder berdiameter 101 mm dan tinggi 101 ± 25 mm dibuat dengan variasi dari P0B0, P0Bopt, P1Bopt, P1.5Bopt, dan P2Bopt. Perilaku pengujian terdiri dari kondisi umur awal, kondisi rendaman, dan kondisi penuaan oven jangka panjang, sehingga jumlah benda uji yang dibutuhkan sebanyak 45 sampel. Skema pengujian kuat tekan bebas terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema pengujian kuat tekan bebas

Penentuan Kuat Tekan Bebas dan Modulus Kekakuan dinalisis menggunakan persamaan (4),(5), dan (6).

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (4)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (5)$$

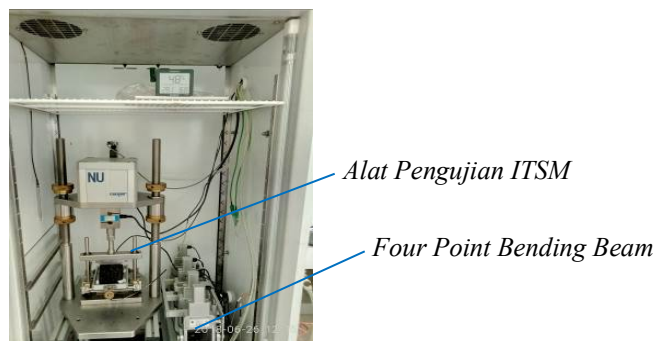
$$\epsilon = \frac{\Delta v}{t} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- σ = Kuat Tekan Bebas (MPa)
- P = Beban Maksimum (N)
- A = Luas Permukaan Benda Uji (mm²)
- E = Modulus Kekakuan (MPa)
- σ = Kuat Tekan Bebas (MPa)
- ϵ = Regangan vertical (mm/mm)
- Δv = Perpindahan Vertikal (mm)
- t = Tinggi benda uji (mm)

d. Pengujian ITSM dan *Fatigue*

Pengujian ITSM dan *Fatigue* menggunakan alat *Cooper Research Technology* HYD 25 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Alat Pengujian *Fatigue* dan ITSM dengan alat *cooper research technology* HYD 25
 Penentuan modulus kekakuan menggunakan persamaan (7) dan persamaan (8)

$$E = \frac{Px(v+0.27)}{h \times t} \dots\dots\dots (7)$$

$$E' = E \times (1 - 0.322 \times (\log (E) - 1.82) \times (0.60 - k)) \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

- E = Modulus Kekakuan Tarik Tidak Langsung (MPa)
- P = Beban vertikal puncak (N)
- h = Deformasi horizontal (mm)
- v = Poisson's ratio
- t = Tebal benda uji (mm)
- E' = Modulus kekakuan yang disesuaikan dengan load factor 0,60 (MPa)
- k = Faktor load areas

Pengujian kelelahan dimaksudkan untuk menentukan umur kelelahan campuran Aspal. Penentuan kelelahan berdasarkan persamaan empiris dikembangkan oleh *Asphalt Institute*, yaitu:

$$N_f = f_1(\epsilon_t)^{-f_2}(E)^{-f_3} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- N_f = Jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh (cycles)
- ε_t = Regangan tarik yang terjadi (mm/mm)
- E = Modulus elastisitas campuran (psi)
- f₁, f₂, dan f₃ = konstanta dengan nilai masing-masing 0,0796; 3,291; dan 0,854

Selain itu persamaan empiris penentuan umur kelelahan juga dikembangkan oleh Shell :

$$N_f = [0,17PI - 0,0085PI(V_b) + 0,0454V_b - 0,112]^5 \epsilon_t^{-5} E^{-1,8} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

- N_f = Jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh (cycles)
- PI = Penetration Index
- V_b = Volume aspal dalam campuran (%)
- ε_t = Regangan tarik yang terjadi
- E = Modulus elastisitas campuran (psi)

4. EKSPEKTASI HASIL PENELITIAN

Berdasarkan uraian singkat di atas, hasil yang diharapkan dalam penelitian antara lain :

1. Penggunaan PCC dan Asbuton secara bersama-sama akan meningkatkan kinerja umur awal CAD
2. Penggunaan PCC dan Asbuton secara bersama-sama akan meningkatkan durabilitas CAD
3. Memberikan gambaran hubungan antara kinerja mekanis CAD dengan karakteristik mineraloginya.
4. Memberikan gambaran hubungan jumlah material PCC dan Asbuton terhadap Kinerja Mekanis CAD.

DAFTAR PUSTAKA

FHWA US-DOT (2016). *Strategy for improving sustainability of Asphalt Pavement*, TechBrief, FHWA-HIF-16-012.

Hermawan K.F., Krisbandono A., Mahida M., Andjarwati D.E., Simanjuntak D.F., dan Yungga A.B., 2015, *Policy Brief :Strategi Pengembangan Supply Chain Aspal Buton, Mendukung Target Pembangunan Jalan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Kebijakan dan Penerapan Teknologi Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, ISBN : 978-602-0811-06-2, Jakarta Selatan.

PSDG-ESDM-RI, 2013, *Laporan Pemuktahiran Data dan Neraca Sumber Daya Mineral*. <http://psdg.bgl.esdm.go.id/Neraca/NeracaMineral214.pdf>.

Oruc, S, Celik, F, and Akpınar, MV (2007) *Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures*. ASM International. JMEPEG.

Alvaro, G, Pietro, L, Manfred, NP, dan Iwan, J (2013). *Influence of Cement content and environmental humidity on asphalt emulsion and cement composites performance*.

- Dolzycki B., Jaczewski M., dan Szydowski Cezary, 2017, *The long-term properties of mineral-cement-emulsion mixtures*, Construction and Building Materials 156 799–808.
- Niaz Y, dan Jalili M., 2009, Effect of Portland cement and lime additives on properties of cold in-place recycled mixtures with asphalt emulsion, Construction and Building Materials.
- Jian Xu, Songchang Huang, Yongchun Qin, dan Feng Li, 2011, *The Impact of Cement Contents on the Properties of Asphalt Emulsion Stabilized Cold Recycling Mixtures*, International Journal of Pavement Research and Technology Vol.4 No.1
- Gaus, A, Tjaronge MW, Ali, N dan Djameluddin, R (2015). *Compressive strength of asphalt concrete binder course (AC-BC) mixture using buton granular asphalt (BGA)*. The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5). Procedia Engineering.
- Affandi, F (2010). *Pengaruh Asbuton Semi Ekstrasi pada campuran stone mastic Asphalt*, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Suaryana N., 2016, *Performance Evaluation of Stone Matrix Asphalt Using Indonesian Natural Rock Asphalt as Stabilizer*, International Journal of Pavement Research and Technology, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.09.007>
- Hermadi M., and Dachlan A.T., 2006, *Asbuton Campuran Dingin Aspal Emulsi, Makalah Workshop Peningkatan Pemanfaatan Asbuton*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- DPU, 2006, Pemanfaatan Aspal Buton Buku 5: *Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Olahan*, Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 001-05/BM/2006, Dirjen Bina Marga, Jakarta.
- Bowen, OE, dan Evans, JR (1973). *The Mineral Economic of The Carbonate Rock : The Original, Chemical and Mineral Content and Distinguishing Characteristics of limestone and dolomite*. California Division of Mines and Geology, Sacramento. Limestone and Dolomite Resource of California, Buletin 194.
- Freas, RC, Hayden, JS, dan Pryor, JrCA (2006). *Limestone and Dolomite*, Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Market, and Uses. 7th Edition. Society for mining, metallurgy, and exploration, Littleton, Colorado, USA.
- DPU, 2006, Pemanfaatan Aspal Buton Buku 5: *Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Olahan*, Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 001-05/BM/2006, Dirjen Bina Marga, Jakarta.
- García A., Lura P., Partl M.N, dan Jerjen I., 2012, *Influence of cement content and environmental humidity on asphalt emulsion and cement composites performance*, Materials and Structures (2013) 46:1275–1289, DOI 10.1617/s11527-012-9971-6
- Birchall, JD, Howard, AJ, dan Bailey, JE (1978). *On the hydration of Portland cement*. Proc R Soc Lond Ser A Math Phys Sci 360(1702):445–453.
- Jonsson, B, Wennerstrom, H, Nonat, A, and Cabane, B (2004). *Onset of cohesion in cement paste*. Langmuir.
- Balitbang Kab. Muna dan CoT FT-Unhas, 2017, *Penggunaan Material Lokal untuk Pengaspalan Jalan di Kabupaten Muna, Makassar*.
- BSN, 1994, *SNI 03-3640-1994: metode pengujian kadar beraspal dengan cara ekstraksi Menggunakan alat soklet*, Jakarta
- BSN, 1991, *SNI 06-2490-1991: Metoda pengujian kadar air aspal*, , Jakarta
- BSN, 1996, *Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm)*, SNI 03-4142-1996, Jakarta
- Badan Standar Nasional Jakarta (1991) *SNI 06-2489-1991: Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*,
- ASTM D 2166, 2006, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, Philedelfia.
- ASTM D6931-12, 2012. *Standart test method for indirect tensile (IDT) strength of bituminous mixtures*. Philedelfia.
- British Standards Institution (1993). BS DD 213: *Method for determination of the indirect tensile stiffness modulus of bituminous mixtures*. London, United Kingdom.
- British Standard Institution. 2012. BS EN 12697-24:2012: *Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt*, Part 24: Resistance to fatigue. London, United Kingdom.

