

PENGARUH PENUAAN TERHADAP KUAT TARIK DAN POLA DIFRAKSI SINAR-X CAMPURAN ASPAL LAPIS PENGIKAT

M. Tumpu¹, M. W. Tjaronge² dan A. R. Djamiluddin³

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email : tumpumiswar@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email : tjaronge@yahoo.co.jp

³Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email : jamiluddin_abdulrahman@yahoo.co.id

ABSTRAK

Untuk dapat dipergunakan atau diaplikasikan di lapangan, maka aspal harus melalui tahapan pemanasan. Salah satu jenis kerusakan campuran beraspal dapat diakibatkan oleh pemanasan, dimana akibat pemanasan tersebut akan menyebabkan penuaan aspal (*asphalt aging*). Penuaan laboratorium merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk mendapatkan hasil tes penuaan dalam waktu yang singkat dibandingkan kondisi lapangan. Asbuton modifikasi merupakan hasil olahan semi ekstraksi dari aspal alam Buton yang dapat digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai kuat tarik tidak langsung campuran aspal lapis pengikat yang diakibatkan oleh proses penuaan secara laboratorium selama 2 dan 4 hari dengan suhu oven 85°C. Selain dari pengujian empirik yang digunakan untuk mengevaluasi campuran beraspal, dapat juga digunakan pengujian yang bersifat semikuantitatif dari benda uji. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*).

Kata kunci : penuaan, kuat tarik tidak langsung, pengujian XRD

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan aspal minyak di Indonesia sekitar 1,2 juta ton pertahun untuk membangun jalan baru sedangkan kemampuan produksi aspal (aspal minyak) dalam negeri hanya sekitar 600 ribu ton per tahun, selebihnya harus diimpor dari luar negeri. Salah satu alternatif untuk mengurangi akan kebutuhan aspal minyak adalah dengan menggunakan Aspal Buton Indonesia (Asbuton-Indonesia) yang merupakan aspal alam Indonesia. Deposit Asbuton Indonesia sangatlah melimpah, diperkirakan setara dengan 24 juta aspal minyak (Suryana, 2003; Tjaronge, 2012). Asbuton diharapkan dapat menggantikan peran aspal minyak secara parsial ataupun seluruhnya (Affandi, 2010). Sejumlah penelitian mengenai bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton menunjukkan bahwa bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton memiliki kesesuaian sifat fisik dengan aspal minyak. (Affandi, 2010; Zamhari dkk., 2013).

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.

Untuk dapat dipergunakan atau diaplikasikan di lapangan, maka aspal harus melalui tahapan pemanasan. Salah satu jenis kerusakan campuran beraspal dapat diakibatkan oleh pemanasan, dimana akibat pemanasan tersebut akan menyebabkan penuaan aspal (*asphalt aging*).

Penyebab penuaan campuran beton aspal adalah menguapnya bagian cair dari aspal karena adanya pemanasan sehingga aspal menjadi getas dan kehilangan daya lekatnya. Pengurangan fleksibilitas dan pelekatan aspal ini menyebabkan jalan mudah rusak saat menerima beban lalu lintas berat (Widodo dkk., 2012).

Penuaan aspal yang paling besar terjadi justru pada saat sebelum masa pelayanan, yaitu pada saat proses pencampuran sampai dengan aplikasi di lapangan. Selanjutnya proses penuaan akan berlangsung selama masa layanan dari konstruksi jalan tersebut. Penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi

minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek, *short-term ageing*) dan oksidasi yang progresif (penuaan jangka panjang, *long-term ageing*) (Yamin dan Aschuri, 2008).

Penuaan laboratorium merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk mendapatkan hasil tes penuaan dalam waktu yang singkat dibandingkan kondisi lapangan. Kliewer et al (1995) telah meneliti hubungan antara kinerja campuran beton aspal di lapangan dan sifat-sifat pelapukan campuran beton aspal yang dilakukan di laboratorium. Prosedur pelapukan campuran beton aspal di laboratorium untuk mewakili pelapukan jangka pendek atau saat pelaksanaan dilakukan dengan cara memanaskan campuran aspal dalam kondisi loose di dalam oven selama 4 jam pada temperatur 135°C sebelum dipadatkan.

Beban kendaraan yang melintas akan menimbulkan tegangan tarik pada bagian bawah hingga pertengahan pada lapis suatu jalan. Campuran aspal akan mengalami pengerasan atau penuaan akibat terpapar cuaca. Penuaan akan mempengaruhi kemampuan campuran aspal memikul beban kendaraan. Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya atau in-situ, beban diterapkan tiga dimensi. Sejumlah pengujian yang telah disederhanakan 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).

Selain dari pengujian empiris yang digunakan untuk mengevaluasi campuran beraspal, dapat juga digunakan pengujian yang bersifat semikuantitatif dari benda uji. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi unsur/senyawa/fasa dan struktur kristal yang terbentuk secara kualitatif. Pada dasarnya, atom yang tersusun membentuk struktur kristal dan struktur mikro/fasa dapat dianalisis melalui teknik eksperimental yang berbasis difraksi. Pada eksperimen difraksi, gelombang yang ditembakkan akan membentur pada material dan ditangkap oleh detektor. Detektor mengidentifikasi arah dan intensitas gelombang yang terdifraksi/terpancar keluar dari material. Interferensi gelombang terjadi pada gelombang yang diemisikan atom yang berbeda jenis dan posisinya. Geometri yang direpresentasikan melalui arah gelombang membentuk pola difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan sel satuan pada struktur kristal dan senyawa (Fultz, 2013; Cullity, 1956). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan :

1. Menganalisis ketahanan campuran AC-BC dengan penggunaan Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 sebagai bahan pengikat akibat proses penuaan secara laboratorium.
2. Menganalisis pola difraksi sinar-X yang terjadi pada benda uji campuran AC-BC akibat proses penuaan secara laboratorium.
3. Menganalisis hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan komposisi senyawa kimia pada benda uji campuran AC-BC yang mengalami proses penuaan secara laboratorium.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Isu Penuaan Pada Campuran Beraspal

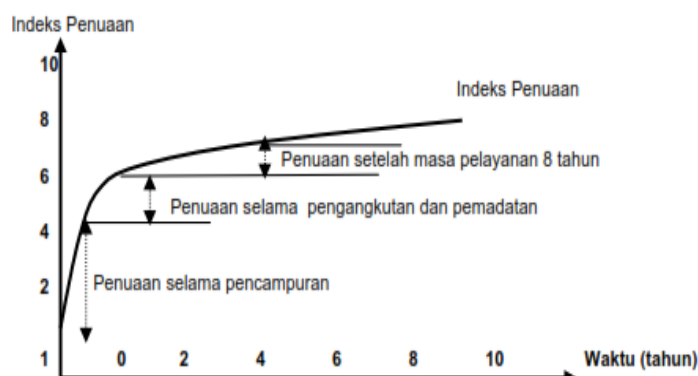
Kerusakan konstruksi jalan raya antara lain diakibatkan oleh menurunnya daya dukung jalan antara lain karena terjadinya proses penuaan campuran beton aspal. Penuaan diakibatkan oleh proses pemanasan baik saat pencampuran di *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, pengangkutan, pemadatan dan selama masa layanan konstruksi jalan tersebut.

Pada campuran beraspal, penuaan dinyatakan dengan fenomena pengerasan (*hardening*). Dua pengertian lain yang sering digunakan, yaitu; umur pengerasan (*age hardening*) dan pelapukan (*embrittlement*) (Elvik & Greibe, 2005).

Gambar 1 memperlihatkan penuaan bitumen selama pencampuran, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan serta akhir masa layanan. Penyebab penuaan campuran beton aspal adalah karena menguapnya bagian cair dari aspal karena adanya pemanasan sehingga aspal menjadi getas dan kehilangan daya rekatnya. Pengaruh fleksibilitas dan pelekatan aspal ini menyebabkan jalan mudah rusak saat menerima beban lalu lintas berat. (Widodo dkk., 2012).

Penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek, *short-term aging*), dan oksidasi progresif (penuaan jangka panjang, *long-term aging*). Penuaan ini menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan selanjutnya akan

meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran tersebut (Yamin dan Aschuri, 2008).



Gambar 1. Penuaan bitumen selama pencampuran, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan serta akhir masa layanan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)

Penuaan aspal merupakan perubahan tingkat kekerasan (*hardening*) dan kerapuhan aspal (*brittleness*) akibat penanganan, proses produksi campuran beraspal dan masa pelayanan campuran beraspal tersebut di lapangan. Penuaan ini menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal. Kesemuanya ini berkaitan erat dengan kecepatan terjadinya retak ataupun pelepasan butir pada perkerasan beraspal.

Pelapukan yang terbesar terjadi pada saat pemanasan aspal dan pencampuran aspal dengan agregat. Pada saat pemanasan terjadi oksidasi/penguapan fraksi ringan sehingga terjadi pengerasan aspal, sedangkan pada saat pelayanan di perkerasan jalan pelapukan aspal sangat tergantung besarnya rongga sebagai hasil dari pelaksanaan pemadatan (Suroso, 2009).

Dalam perancangan beton aspal, pengaruh penuaan aspal ini belum diperhitungkan. Dalam spesifikasi beton aspal yang dikeluarkan oleh Bina Marga (2010) disyaratkan bahwa stabilitas beton aspal yang direndam selama 4 hari, stabilitas sisanya tidak boleh kurang dari 90%. Persyaratan ini adalah untuk menguji ketahanan beton aspal terhadap kerusakan akibat terendam air. Akan tetapi yang menjadi masalah adalah bahwa cuaca yang merusak beton aspal tidak hanya air saja. Pemanasan berlebihan juga menyebabkan kerusakan campuran beton aspal, karena aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat mengalami penuaan. (Widodo dkk., 2012).

Umumnya penuaan campuran aspal diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu penuaan jangka pendek dan jangka panjang. Penuaan jangka pendek dikaitkan dengan hilangnya komponen volatil dan oksidasi dari aspal selama produksi campuran aspal. Penuaan jangka panjang adalah oksidasi progresif materi tempat di lapangan selama masa pelayanan perkerasan (Bell *et al.*, 1994). Proses pemanasan benda uji pada temperatur 135°C selama 4 jam untuk mensimulasikan penuaan jangka pendek disebut *Short Term Oven Aging* (STOA). Sedangkan pemanasan benda uji pada temperatur 85°C selama 5 hari, mensimulasikan penuaan jangka panjang (*Long Term Oven Aging* – LTOA).

Kliwer *et al* 1995 telah meneliti hubungan antara kinerja pelapukan campuran beton aspal dilapangan dan sifat-sifat pelapukan campuran beton aspal yang dilakukan di laboratorium. Prosedur pelapukan campuran beton aspal di laboratorium untuk mewakili pelapukan jangka pendek atau saat pencampuran dilakukan dengan cara memanaskan campuran lepas beton aspal di dalam oven selama 4 jam pada temperatur 135°C sebelum dipadatkan. Sedangkan untuk mensimulasikan pelapukan jangka panjang dilaboratorium dilakukan dengan memanaskan benda uji beton aspal padat pada temperature 85°C. Jangka waktu pemanasan selama 2 hari mewakili pelapukan lapisan perkerasan beton aspal selama 5 tahun. Pemanasan selama 5 hari mensimulasikan pelapukan lapisan perkerasan beton aspal selama 10 tahun (Widodo dkk., 2012).

Pengaruh eksternal aspal dipengaruhi oleh adanya oksigen, radiasi ultraviolet dan perubahan suhu. Pengaruh eksternal ini menyebabkan aspal mengeras, sehingga terjadi perubahan rheologi seperti penurunan penetrasi, peningkatan titik lembek, dan peningkatan viskositas. Faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan pada age hardening aspal, kategori umum disebut oleh sebagian peneliti (Khalid, 2002).

2.2. Aspal Alam Buton

Aspal batu Buton atau biasa disebut Asbuton ditemukan tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton mulai digunakan dalam pengaspalan jalan sejak tahun 1926. Berdasarkan data yang ada, asbuton

memiliki deposit sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia.

Asbuton berbentuk padat dan terbentuk secara alami akibat proses geologi. Dalam Buku 1, Pemanfaatan Asbuton (Pedoman Konstruksi dan Bangunan) No : 001 – 01/BM/2006 oleh Departemen Pekerjaan Umum (Indonesia) menjelaskan bahwa Asbuton butir adalah hasil pengolahan dari Asbuton berbentuk padat yang di pecah dengan alat pemecah batu (*crusher*) atau alat pemecah lainnya yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Nilai penetrasi dari aspal alam Buton (Asbuton) ini kurang lebih 10. Jika dibandingkan dengan aspal minyak, penetrasi aspal minyak lebih besar dibanding Asbuton. Hal yang paling mendasar mengenai perbedaan dari aspal minyak dengan aspal alam Buton (Asbuton) adalah Asbuton lebih kaku sedangkan aspal minyak lebih daktail.

Namun demikian, sesuai dengan Renstra Departemen Pekerjaan Umum 2005-2009, Asbuton dipatok sebanyak 556.000 ton untuk digunakan pada pemeliharaan jalan nasional. Disamping itu, sekitar 550.000 km jalan-jalan provinsi, kabupaten, dan kota serta jalan lainnya berpeluang untuk menerapkan Asbuton dalam lapisan aspalnya.



Gambar 2. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara

Gambar 2 memperlihatkan deposit Aspal Buton (Asbuton) yang terletak di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Deposit Asbuton ini tersebar di beberapa kecamatan di Pulau Buton diantaranya Enreke sebesar 170 juta ton, Lawele sebesar 210 juta ton, Siantopina dan Ulala sebesar 220 juta ton, Kabungka sebesar 60 juta ton dan Banabungi.

Eksplorasi yang dilakukan Alberta Research Council di daerah Lawele (Supriyadi S., Alberta Research Council, 1989 dalam buku 1, pemanfaatan Asbuton Dirjen Bina Marga, 2006) pada 132 titik pengeboran diperoleh hasil bahwa ketebalan Asbuton berkisar antara 9 meter sampai 45 meter atau ketebalan rata-rata sebesar 29,88 meter dengan tebal tanah penutup antara 0 meter sampai 17 meter atau rata-rata tebal tanah penutup sebesar 3.47 meter dengan luas daerah pengaruh Asbuton sebesar 1.527.343,5 m².

2.3. Difraksi Sinar-X

Ada dua fakta geometrical yang perlu diingat dalam proses difraksi yakni :

- Peristiwa penyinaran, normal ke bidang pemantul dan sinar yang terdifraksi selalu koplanar.
- Sudut antara sinar yang didifraksi dan sinar yang ditransmisikan selalu beda 2θ . Ini dikenal sebagai difraksi sudut, dan sudut yang dimaksud itu bukanlah θ , yang diperoleh dari eksperimental (Ribeiro, 2004).

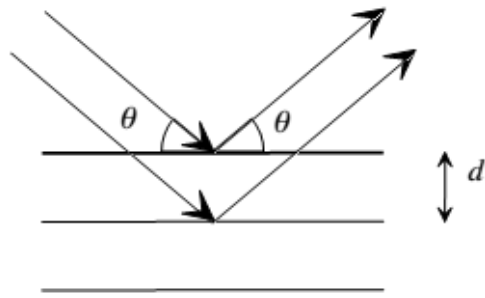
Hukum Bragg menyatakan bahwa peristiwa difraksi hanya dapat terjadi jika memenuhi persamaan 1.

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (1)$$

Keterangan :

- n : Bilangan bulat positif
- λ : Panjang gelombang dari X-Ray tergantung bahan yang digunakan,
- d : jarak antara bidang kisi
- θ : Besar sudut dari arah radiasi sinar x

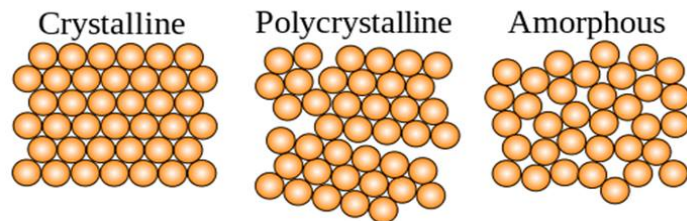
Ilustrasi dari kejadian difraksi bisa dilihat dan di pahami dari Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi asal Hukum Bragg (Mote *et al.*, 2012)

Perlu diperhatikan perbedaan garis jarak pada ilustrasi diatas yang dimana poin penting dari hukum Bragg adalah dapat di jelaskan dengan interferensi konstruktif. Ilustrasi perbedaan garis jarak akan memudahkan kita untuk memahami hukum Bragg.

Pengetahuan mengenai kristal ideal ditentukan oleh susunan satuan satuan struktur yang identik (hampir sama) secara berulang – ulang dengan jumlah yang tak hingga (sulit dihitung) dalam ruang. Kumpulan yang berupa atom atau molekul dan sel ini terpisah sejauh 1 Å atau 2 Å. Semua struktur kristal dapat digambarkan dengan istilah basis dan *lattice* (kisi), sebaliknya zat padat yang tidak memiliki keteraturan satuan struktur identik dalam ruang disebut amorf. Gambar 4 memperlihatkan ilustrasi perbedaan keteraturan susunan atom untuk partikel padatan kristalin, polikristalin dan amorf.



Gambar 4. Ilustrasi perbedaan keteraturan susunan atom untuk partikel padatan kristalin, polikristalin dan amorf (Zak *et al.*, 2013)

Mengenal Kristal menurut "*Elementary X-Ray diffraction*" tahun 1956, secara skala nano adalah langkah wajib yang harus dilakukan para peneliti bidang material, agar nantinya tidak mengalami hambatan dalam melakukan interpretasi data serta untuk penyajian hasil pengolahan data. Struktur kristal dalam istilah mineralogi dan kristalografi merupakan susunan-susunan atom yang khas dan bersistem secara periodik berdimensi tiga. Struktur kristal yang ideal disusun secara rapi oleh unit sel dengan jumlah tertentu. Unit sel dipisahkan oleh kisi dengan jarak tertentu, ini berarti unit sel (spatial atom) akan semakin kecil jika kisi memiliki ukuran yang kecil pula. Zat padat memiliki 2 kategori dasar jika dipandang dari sisi susunan atomnya, yakni kristal dan amorf. Amorf merupakan struktur yang tidak memiliki arah yang konsisten (tidak menentu) sehingga panjang dan sudut ikatannya tidak teratur. Penyimpangan struktural adalah hal dasar yang menyebabkan suatu material memiliki kondisi bersifat amorf (*amorphous*). Adapun material yang memiliki susunan atom yang baik akan tetapi struktur yang terbentuk lebih dari satu, sehingga memiliki orientasi yang lebih dari satu kondisi material yang seperti ini disebut polikristal. Contoh unsur berstruktur kristal yakni S, Fe, Li, Zn, Cl dll, contoh unsur komposit (senyawa) berstruktur polikristal antara lain NaCl (garam), SiO₂ (quartz), pirit (FeS), gula (C₂H₁₂O₆) dan lain-lain, contoh padatan amorf antara lain karbon amorf adsorben dan silika gel adsorben.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Uji

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Campuran AC-BC diproduksi dengan menggunakan Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55. Kemudian dilakukan pengkajian dan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) dan pengujian komposisi kimia dengan alat XRD berupa benda uji Marshall harian dan sebelumnya berupa pengujian Marshall berupa stabilitas, *flow*, *marshall quotient*, VIM, VMA dan VFB dilakukan untuk menentukan KAO (Kadar Aspal Optimum).

3.2. Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan karakteristik material yang dilakukan berupa karakteristik agregat yaitu agregat kasar (batu pecah 0,5 cm - 1 cm dan batu pecah 1 cm – 2 cm), agregat halus (pasir) dan filler (semen), karakteristik asbuton modifikasi tipe retona blend 55 yang digunakan sebagai bahan pengikat.

Tabel 1. Metode pengujian karakteristik agregat

Pengujian	Metode Pengujian	
	Agregat kasar	Agregat halus
Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	
Berat jenis dan penyerapan agregat	SNI 03-1969-2008	SNI 03-1970-2008
Kadar lumpur	SNI 03-4142-1996	
Keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	
Indeks kepipihan <i>Sand equivalent</i>	SNI 03-4137-1996	SNI 03-4428-1997

Tabel 2. Standar-standar pengujian karakteristik semen

Karakteristik material	SNI 15-7064-2004 Standar
Kadar air (%)	12 maks
Kehalusan	280 min
Pengembangan, % (maks)	0,8 maks
Kuat tekan	
a. 3 hari (kg/cm ²)	125 min
b. 7 hari (kg/cm ²)	200 min
c. 28 hari (kg/cm ²)	250 min
Waktu pengerasan (Vicat tes)	
a. Pengerasan awal, menit	45 min
b. Pengerasan akhir, menit	375 min
Waktu ikat palsu	50 min

Tabel 3. Metode pengujian karakteristik Asbuton modifikasi

No.	Pengujian	Metode
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat	SNI 06-2456-2011
2	Titik lembek	SNI 06-2434-2011
3	Daktalitas	SNI 06-2432-2011
4	Titik nyala	SNI 06-2433-2011
5	Berat jenis	SNI 06-2441-2011
6	Penurunan berat	SNI 06-2440-1991
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-2011

3.3. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mengacu pada SNI Marshall yaitu SNI 06-2489-1991, diawali dengan penimbangan komponen penyusun campuran, yaitu agregat (agregat kasar, agregat halus dan filler baik dari abu batu maupun filler dari semen), Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat sesuai rancangan *mix design*.

Semua material dicampur dalam suhu ruang. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke *mould* silinder yang telah dilapisi kertas saring di kedua sisinya. Kemudian proses pemadatan campuran pada suhu ruang dilakukan dengan alat penumbuk (berat 4,5 kg dan tinggi jatuh 45,7 cm) dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk setiap bidang. Jumlah tumbukan sebanyak 75 kali tumbukan untuk setiap bidang berdasarkan standar pengujian

Marshall (SNI 06-2489-1991) dengan asumsi bahwa 75 tumbukan mengisyaratkan lalu lintas berat. Setelah itu, benda uji yang telah dipadatkan dikeluarkan dari *mould* dengan menggunakan *ejector*. Benda uji dikeluarkan dari *mould* setelah didiamkan selama 24 jam dan telah dingin. Setelah itu diberikan tanda pengenal sesuai dengan variasi benda uji yang dibuat. Kemudian langkah-langkah pengujian Marshall berupa pengujian volumetrik dan pengujian stabilitas mengacu pada SNI 06-2489-1991.

3.4. Metode Penuaan Buatan Jangka Panjang (*Long Term Oven Aging*)

Metode penuaan buatan jangka panjang (*Long Term Oven Aging, LTOA*) diawali dengan memadatkan campuran aspal yang telah melalui proses *Short Term Oven Aging*. Selanjutnya campuran aspal yang telah padat berbentuk briket, dimasukkan ke dalam *oven* dan dipanaskan pada temperatur $85 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 2 dan 4 hari, dimana campuran balik setiap 24 jam agar proses pemanasan merata. Setelah 2 dan 4 hari, oven dimatikan dan pintu oven dibiarkan terbuka selama 24 jam. Selama itu benda uji tidak boleh dipindahkan. Setelah itu benda uji dikeluarkan dari *oven* kemudian dilakukan proses pengujian. Selanjutnya pengujian, nilai kuat tarik tidak langsung akibat proses penuaan secara laboratorium selama 2 hari (usia sekitar 5 tahun) dan 4 hari (usia sekitar 15 tahun) (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015; Kliewer *et al.*, 1995; Bell *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 2007; Widodo dkk., 2012). Gambar 5 memperlihatkan benda uji LTOA.



Gambar 5. Benda uji LTOA

3.5. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

Benda uji tersebut dipasang LVDT (*Linear Vertical Deformation Transducer*) pada bagian sisinya untuk membaca deformasi vertikal dan deformasi horizontal akibat beban tarik yang diberikan. Standar pengujian kuat tarik mengacu pada ASTM D6931-12.



Gambar 6. Posisi benda uji pengujian kuat tarik belah (*Indirect Tensile Strength*)

Kuat tarik belah adalah tegangan tarik maksimum dihitung dari pembebanan maksimum, ketika benda uji terbelah. Besarnya kuat tarik belah atau tegangan tarik dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.

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

Dimana :

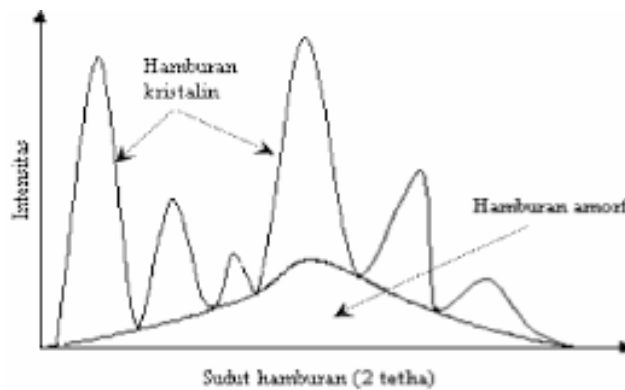
ITS = Nilai kuat tarik tak langsung (N/mm^2)
H = Tinggi/tebal benda uji (mm)

P = Beban (N)
D = Diameter benda uji (mm)

3.6. Metode Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction digunakan sebagai penghasil sinar-x dan perekam pola difraksi yang diakibatkan oleh interaksi antara sampel uji dan sinar-X. Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang struktur polimer, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin polimer. Polimer dapat mengandung daerah kristalin yang secara acak bercampur dengan daerah amorf. Difraktogram sinar-X polimer kristalin menghasilkan puncak-puncak yang tajam, sedangkan polimer amorf cenderung menghasilkan puncak yang melebar.

Pola hamburan sinar-X juga dapat memberikan informasi tentang konfigurasi rantai dalam kristalit, perkiraan ukuran kristalit, dan perbandingan daerah kristalin dengan daerah amorf (derajat kristalinitas) dalam sampel polimer (Jenkins, 1995; Iguchi, 1999). Pada umumnya bahan polimer bersifat semikristalin, yang berarti memiliki bagian amorf maupun bagian kristalin. Baik bagian amorf maupun bagian kristalin dapat menunjukkan intensitas hamburan yang spesifik seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6. Difraktogram polimer kristalin

Penentuan derajat kristalinitas dengan difraksi sinar-X dapat dilakukan atas dasar asumsi bahwa daerah kristalin dan amorf terdapat dalam substansi yang sama dan memberikan kekuatan hamburan yang ekuivalen. Derajat kristalinitas (X_c) ditentukan menggunakan persamaan 2 (Dunitz, 1995).

$$X_c (\%) = \frac{\text{Luas daerah kristalin}}{\text{Luas daerah (kristalin+amorf)}} \times 100\% \quad (3)$$

4. HASIL YANG DIHARAPKAN

Berdasarkan uraian singkat yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah :

1. Penggunaan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal yang dapat digunakan sebagai pemanfaatan material lokal Indonesia, khususnya Pulau Buton, Sulawesi Tenggara.
2. Memberikan gambaran hubungan tegangan dan regangan yang terjadi dalam menerima beban tarik campuran beraspal dengan hasil pengujian XRD (senyawa kimia) yang diakibatkan oleh proses penuaan secara laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi F. (2010). Pengaruh Asbuton Semi Ekstraksi Pada Campuran Stone Mastic Asphalt. Bandung : Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- ASTM D6931 - 12, 2012. Standart test method for indirect tensile (IDT) strength of bituminous mixtures.
- Bell C. A., AbWahab Y., Cristi M.E., & Sosnovske D. (1994). Selection of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures. Strategic Highway Research Program (SHRP)-A-383. Oregon State University Corvallis, OR 97331.

- Cullity B. D. 1956. Elements of X-Ray Diffraction. Second Edition : Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Elvik R, Greibe P, 2005, Road Safety effects of porous asphalt : a systematic review of evaluation studies, Elsevier.
- Fultz B. 2013. Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials. Springer. ISBN 978-3-642-29761-8.
- Khalid H. A. 2002. *A New Approach for The Accelerated Ageing of Porous Asphalt Mixtures*. Proceedings of The Institution of Civil Engineers Liverpool.
- Kliwer J E, Bell C A, Sosnovske D A, 1995, Investigation Of Relationship Between Field Performance And Laboratory Aging Properties Of Asphalt Mixtures. ASTM STP 1265, American Society For Testing and Materials, Philadelphia.
- Maria Isabel Ribeiro “Gaussian Probability Density Function: Properties and Error Characterization”, Book, Institute for System and Robotics Instituto Superior Tcnico 1049-001 Lisboa PORTUGAL,2004.
- SNI 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus.
- SNI 03-1971-1991 Pengujian Kadar Air Agregat Halus.
- SNI 03-2417-1991 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- SNI 03-2439-1991 Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal.
- SNI 03-2816-1992 Pengujian Kadar Organik Pasir.
- SNI 03-4137-1996. Metode pengujian tebal dan panjang rata-rata agregat
- SNI 03-4142-1996. Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm).
- SNI 03-4428-1997 Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir.
- SNI 03-4804-1998 Pengujian Rongga Udara dalam Agregat.
- SNI 03-6441-2000 Pengujian Viskositas Aspal Minyak dengan Alat Brookfield Termosel.
- SNI 06-2432-1991 Pengujian Daktalitas Aspal.
- SNI 06-2433-1991 Pengujian Titik Nyala Aspal.
- SNI 06-2433-2011. Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal
- SNI 06-2434-1991 Pengujian Titik Lembek Aspal.
- SNI 06-2438-1991 Pengujian Kelarutan Aspal dalam C₂HCl₃.
- SNI 06-2440-1991 Pengujian Kehilangan Berat Aspal.
- SNI 06-2441-1991 Pengujian Berat Jenis Aspal.
- SNI 06-2456-1991 Pengujian Penetrasi Aspal.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- SNI 15-7064-2004. Semen Portland komposit
- SNI 1969-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.
- SNI 1970-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
- SNI 2417-2008. Cara Uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- SNI 2432:2011. Cara uji daktalitas Aspal.
- SNI 2432:2011. Cara uji penetrasi aspal
- SNI 2434:2011. Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring dan ball).
- SNI 2439:2011. Cara uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal.
- SNI 2441:2011. Cara uji berat jenis aspal keras.
- SNI 4798:2011, Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.
- Suroso Tj. W, 2008, Hubungan Antara Sifat Kimia Aspal dan Sifat Rheologi Aspal. PUSLITBANG PU.
- Suryana A., Inventory on Solid Bitumen Sediment Using ‘Outcrop Drilling’ in Southern Buton Region, Buton Regency, Province Southeast Sulawesi, Colloquium on Result Activities of Mineral Resources Inventory. - DIM, the TA. 2003, Directorate Mineral (Bandung, in Indonesian) in Tjaronge. M.W and Rita Irmawaty. 2013. Influence of Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder, Proceedings of 3rd International conference and Sustainable Construction Material and Technologies-SCTM, Kyoto, Japan, 2003, M4-1 e153.
- The Shell Bitumen Handbook. (2015). University of Nottingham.
- VD Mote, Y Purushotham, BN Dole, “Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles” in *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2012,6:6.
- Widodo S, Harnaeni SR, Wijayanti E, 2012, Pengaruh Penuaan Aspal Terhadap Karakteristik Asphalt Concrete Wearing Course, UMS.
- Yamin A Y, Aschuri I, 2008, Pengaruh Penambahan Asbuton pada Penuaan Campuran Aspal, UNDIP.

Zak, W.H. Abd Majid, M.E Abrishami, Ramin Yousefi. X-Ray Analysis of A. Khorsand ZnO Nanoparticles by Williamson Hall and Size Strain Plot Methods (ScienceDirect) Solid State Sciences 13 (2011) 251-256 (2013).

Zamhari K. A. dkk. 2014. Comparing of Performance of Granular and Extracted Binder From Buton Rock Asphalt. International Journal of Pavement Research and Technology. Vol. 7 No.1 Jan 2014.