

KOMBINASI LIMBAH PLASTIK PET (*POLYETHYLENE THEREPHTHALATE*) DAN PP (*POLYPROPHYLENE*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH UNTUK MENINGKATKAN KINERJA CAMPURAN AC-WC

Irianto¹, Abd. Rachman Djamaluddin², Mubassirang Pasra³ dan Ardy Arsyad⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: irian.anto@gmail.com

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

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: mubapasra@gmail.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: ardvarsyad@gmail.com

ABSTRAK

Plastik merupakan jenis polimer yang tidak dapat terurai sendiri, yang membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun untuk terurai kembali ke bumi. Limbah plastik telah menjadi sesuatu hal yang menakutkan di setiap belahan bumi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik jenis PET dan limbah plastik jenis PP yang di kombinasikan, merumuskan model hubungan antara nilai kuat tekan dengan kadar limbah plastik jenis PET dan plastik jenis PP yang di kombinasikan serta menemukan besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi (J/m^3). Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Kadar limbah plastik (PET dan PP) dengan kombinasi yaitu 0, 25, 50, 75 dan 100% yang digunakan yaitu senilai 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% 2,0% dan 2,5% dari berat total agregat. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah pemanfaatan limbah plastik jenis PET dan PP sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC, mendapatkan hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastik PET dan PP yang di kombinasikan akibat beban tekan serta mendapatkan nilai besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.

Kata kunci: PET, PP, AC-WC, hubungan tegangan-regangan, beban tekan

PENDAHULUAN

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

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 limbah plastik 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 plastik dapat dijadikan bahan tambah dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran aspal porus.

Penggunaan bahan tambah dalam campuran beton aspal menjadi suatu pilihan. Ada banyak hal ketika diputuskan menggunakan bahan tambah dalam campuran aspal, salah satunya untuk meningkatkan kinerja campuran terutama dalam hal kinerja campuran beraspal dan hal ketahanan beton aspal menahan pembebanan berulang di jalan. Adapun dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik (polimer mutu rendah) sebagai bahan tambah.

Menurut Suroso (2009), penambahan limbah plastik ke dalam campuran aspal telah banyak dilakukan baik di dalam maupun luar negeri dan telah dibuktikan dapat meningkatkan mutu campuran beraspal. Moghaddam, dkk., (2013) menyatakan bahwa terjadi peningkatan stabilitas dari campuran aspal dengan menambahkan botol plastik sebesar 0-1% dari berat agregat ke dalam campuran. Penambahan limbah botol plastik tersebut meningkatkan ketahanan leleh campuran dibandingkan dengan campuran aspal biasa. Arianti, Nasrul, dan Balaka (2015) memperoleh hasil penelitian bahwa seiring dengan meningkatnya kadar botol plastik dalam campuran aspal maka akan meningkatkan stabilitas, VMA, VFA, *flow*, dan MQ, serta menurunkan VIM. Kadar botol plastik yang terbaik untuk karakteristik *Marshall* adalah 2%. Israil, Adisasmita, dan Djamiluddin (2012) memperoleh hasil bahwa penambahan serpih sampah plastik ke dalam campuran beton aspal AC-WC dapat meningkatkan stabilitas campuran, nilai *Marshall Quotient* (MQ), VFB (*Void Filled with Bitumen*), serta menurunkan nilai *flow*, VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Agregat*).

Plastik adalah suatu polimer (material sintetik buatan manusia) yang mudah dibentuk, dicetak, mempunyai sifat unik dan luar biasa (Mujiarto, 2005). Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun [2005](#) (Wikipedia, 2016 a).

Selain itu, pada tanggal 5 Agustus 2017 Kementerian PUPR telah mengeluarkan surat edaran nomor SP.BIRKOM/VIII/2017/383 tentang inovasi teknologi dukung percepatan pembangunan infrastruktur PUPR. Salah satu isi dari surat edaran tersebut adalah penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah dalam campuran beraspal. Belum lama ini, Kementerian PUPR juga telah menggelar uji coba aspal plastik sepanjang 700 meter yang bertempat di Universitas Udayana, Bali. Pemanfaatan limbah plastik sebagai aspal tersebut merupakan salah satu solusi bagi permasalahan sampah plastik, dengan kebutuhan limbah plastik sebanyak 2,5 hingga 5 ton untuk setiap 1 kilometer jalan dengan lebar 7 meter.

Selain dari uji coba campuran beraspal yang menggunakan limbah plastik di Bali telah digunakan pula di Tahun 2018 di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu di jalan Bandara lama Sultan Hasanuddin di Maros. Tahun ini, di Provinsi Sulawesi Selatan digunakan pula limbah plastik PP sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC yang diterapkan di Jalan Poros Bukumba-Bira melalui dana APBN. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan.
2. Merumuskan model hubungan antara nilai kuat tekan dengan kadar limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan.
3. Menemukan besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi (J/m^3).

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik dalam Campuran Aspal

Menurut Syarief, *et.al.* dalam Nurminah (2002), plastik dibagi atas dua jenis berdasarkan sifat fisiknya, yaitu :

- A. *Thermoplast*, merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Polimer termoplastik memiliki sifat-sifat khusus yaitu jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang atau di daur ulang, dan mudah larut dalam pelarut yang sesuai dengan kecocokan jenis plastik ini. Contoh plastik yang termasuk dalam jenis termoplastik adalah sebagai berikut :
 1. **Polyethylene (PE)**, yang terdiri dari PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan berat jenis yaitu sebesar 1,34-1,39; HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan berat jenis yaitu sebesar 0,96-0,97; dan LDPE (*Low Density Polyethylene*).
 2. **Polyvinilklorida (PVC) dengan berat jenis 1,37–1,39.**
 3. **Polipropena (PP).**
 4. **Polistirena (PS) dengan berat jenis 1,04-1,09.**
 5. **Polycarbonate (Other) dengan berat jenis 1,2.**
- B. *Thermosetting*, merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang atau dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekul yang ada pada jenis plastik ini. Sifat polimer termosetting yaitu keras dan kaku (tidak fleksibel) sehingga jika dipanaskan jenis plastik ini akan mengeras, tidak dapat dibentuk ulang atau sukar didaur ulang, tidak dapat larut dalam pelarut apapun, jika dipanaskan akan meleleh, tahan terhadap asam basa, dan mempunyai ikatan silang antar rantai molekul yang ada pada jenis plastik ini. Contoh plastik dengan jenis *thermosetting* adalah terdiri dari asbak, *fitting* lampu listrik, *steker* listrik, peralatan fotografi, dan radio. Oleh karena itu, jenis plastik ini harus diberikan perlakuan yang khusus pada saat ingin di daur ulang dan dimanfaatkan kembali.

Botol plastik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang merupakan salah satu dari jenis polyethylene, yaitu polimer yang terdiri dari rantai panjang monomer etilena (IUPAC : etena). Struktur molekul etena yang terbentuk pada struktur C_2H_4 adalah $-CH_2-CH_2-n$. Dua kelompok CH_2 bersatu dengan ikatan ganda yang terjadi sehingga menjadikan struktur yang terjadi semakin kompleks. Polietilena dibentuk melalui proses polimerisasi dari etena. Polietilena umumnya bisa dilarutkan pada temperatur yang cukup tinggi dalam senyawa hidrokarbon aromatik (Wikipedia, 2016 b).

Menurut Suroso (2009), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik ke dalam campuran aspal, yaitu :

- a. Cara basah, (*wet process*), yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu cara dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini bisa lebih mudah dibandingkan cara basah, hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Namun, untuk cara ini harus diperhatikan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini menggunakan cara kering untuk menambahkan plastik ke dalam campuran beton aspal. Dari segi ekonomi, cara kering lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, lebih mudah ditangani dari pada cara basah (Suroso, 2009), dapat meningkatkan sifat pengikatan agregat pada campuran, mengurangi degradasi di jalan, serta mengurangi penggunaan kadar aspal pada campuran (Mir, 2015). Adapun, persentase plastik yang ditambahkan dalam campuran tidak boleh melebihi 17% (Dallas dalam Suroso, 2009) karena akan membuat karakteristiknya jauh dari disyaratkan. Selain itu, menurut Moghaddam, et.al. (2013) kepadatan dan kekakuan campuran akan meningkat jika hanya ditambahkan sedikit persentase plastik (0,2-1% dari berat agregat). Semakin besar kepadatan suatu campuran, maka akan semakin banyak jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan oleh beton aspal (Widodo dan Setyaningsih, 2013). Hal tersebut dapat meningkatkan umur kelelahan campuran. Tabel 1 memperlihatkan jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik.

Tabel 1. Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik

Simbol Daur Ulang	Jenis Plastik	Sifat-sifat	Aplikasi kemasan				
	Polietilen Tereftalat (PET, PETE)	Bening, kuat, tangguh non permeabel (gas dan uap air)	Soft drink, botol air-salad keju kacang		Polipropilen (PP)	Kuat, tangguh, tahan panas, minyak bahan kimia, tahan lembab	Peralatan dapur, peralatan microwave, wadah yoghurt, piring dan mangkok sekali pakai
	High Density Polietilen	Kaku, kuat, tangguh, tahan lembab,	Susu, jus buah, kantong belanja		Polistiren (PS)	Mudah dibentuk dan diproses	Karton telur, styrofoam, mangkuk sekali pakai
	Poliwinil Klorida (PVC)	Tangguh, kuat, mudah dicampur	Botol jus, pipa air bungkus plastik		Plastik lain (Polikarbonat atau ABS)	Tergantung dari jenis polimernya	Botol minuman, botol susu bayi, barang-barang elektronik
	Low Density Polietilen (LDPE)	Mudah diproses, kuat tangguh, fleksibel, mudah disegel, tahan lembab	Kantong makanan beku, botol remas (kecap, saus, madu), bungkus plastik				

Pengujian Kuat Tekan (*Unconfined Compressive Strength*) Campuran Beraspal

Kuat tekan (CS) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai beban yang dapat diterima dari suatu campuran perkerasan tanpa mengalami kegagalan. Pada konstruksi perkerasan fleksibel kuat tekan merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban yang ada secara vertikal. Parameter-parameter hubungan kurva tegangan-regangan merupakan karakteristik dasar dari suatu benda akibat beban jangka pendek. Dalam menentukan hubungan tegangan - regangan campuran aspal beton akibat beban tekan dalam waktu jangka pendek digunakan uji kuat tekan.

Pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*) bertujuan untuk membuat simulasi proses pembebanan akibat aktivitas lalu lintas yang melewati lapis perkerasan jalan, seperti beban akibat roda kendaraan. Nilai kuat tekan perlu diketahui untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu lapis perkerasan tanpa mengalami keruntuhan/kegagalan pada lapis perkerasan. Kuat tekan menyatakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban secara vertikal dan monotonik. *Output* atau keluaran dari pengujian kuat tekan yaitu hubungan antara nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada lapis perkerasan.

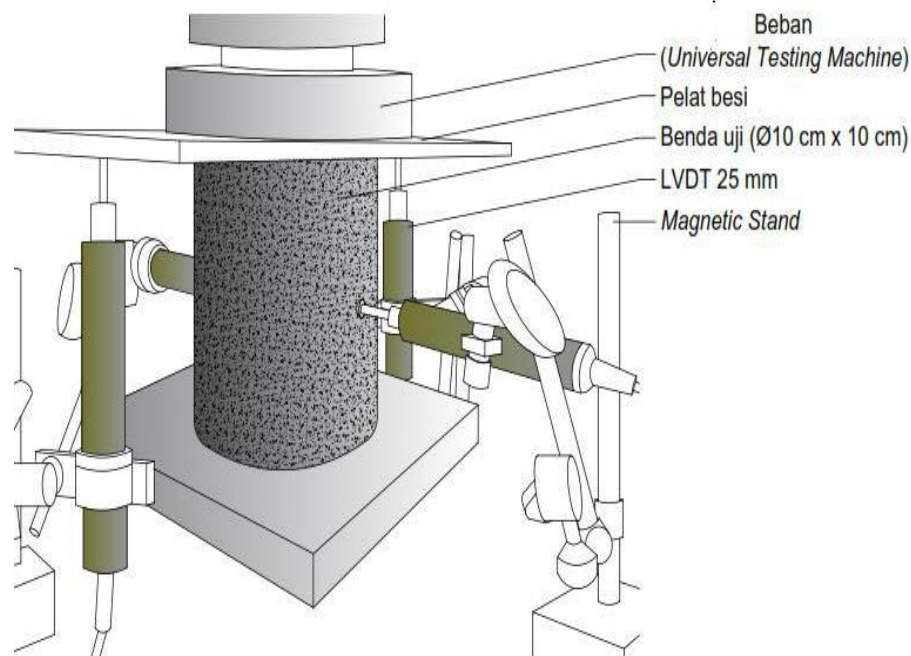
Starodubsky dkk, (1994) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menginvestigasi model keruntuhan benda uji aspal beton, mempelajari perilaku aspal beton di bawah beban sebagai penurunan kekuatan material, menjelaskan kurva tegangan-regangan aspal dibawah batas elastis pada daerah yang menanjak. Penelitian tersebut menggunakan benda uji dengan ukuran diameter 100 mm dan 150 mm dan dipadatkan dengan tekan pada berbagai variasi tekanan statik yang

diberikan yaitu sebesar 6, 12, 18, 24, 36 MPa atau dengan getaran, kandungan bitumen adalah sebesar 4, 5, dan 6%. Agregat yang digunakan adalah agregat basal dan batu kapur (*lime stone/dolomite*).

Perkerasan tidak dirancang dalam kondisi runtuh, tapi dalam kondisi dimana regangan yang terjadi masih kecil (zona elastis). Oleh karena itu, dalam perancangan perkerasan dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat elastis material perkerasan dan seberapa tingkat tegangan yang masih dapat ditahan oleh perkerasan tanpa menyebabkan retak atau deformasi yang berlebihan pada perkerasan jalan (Hary C., 2015).

Gaus (2015) meneliti tentang karakteristik campuran AC-BC yang menggunakan *Buton Granular Asphalt* (BGA). Variasi kandungan BGA yang digunakan yaitu 0%, 5%, dan 8%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa campuran dengan kandungan BGA 5% memiliki nilai kuat tekan paling besar di antara ketiga variasi campuran yaitu 4,45 MPa, sedangkan pada campuran dengan kandungan BGA 0% diperoleh 3,53 MPa dan sebesar 3,88 MPa pada campuran dengan kandungan BGA 8%.

Gambar 1 menunjukkan sketsa proses pengujian kuat tekan pada campuran beraspal dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* dan *LVDT Displacement Transducer* yang dihubungkan ke *Data Logger* untuk mendapatkan pembacaan lendutan yang terjadi.



Gambar 1. Sketsa pengujian kuat tekan

Kurva yang dihasilkan oleh aspal beton dapat memperlihatkan pola yang umum yang terlihat pada beton dan batuan. Analisa menunjukkan bahwa kurva tegangan–regangan dapat dibagi dalam lima bagian yang spesifik. (Peng dkk, 2006) menggunakan pengujian kuat tekan pada benda uji berdiameter 100 mm dan tinggi 100 mm yang diambil dari inti bor pada benda uji aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*).

Widajat dkk, (2009) mengatakan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal busa digunakan uji *compressive strength* dengan menggunakan benda uji selinder yang didapatkan dari hasil *core drill* perkerasan *fleksibel*.

ASTM mengeluarkan pedoman dalam pengujian compressive strength dengan kode D1074-09 (Standart test method for compressive strength of bituminous mixtures).

Toughness dan Toughness Index

Toughness adalah kemampuan suatu material dalam menyerap energi selama proses deformasi plastis. Dalam pengujian tarik statis, energi ini diukur dari area yang berada di bagian bawah kurva tegangan – regangan, yang mewakili pekerjaan yang diperlukan untuk mematahkan benda uji. Sifat spesifik ini disebut dengan modulus toughness, yang merupakan jumlah maksimum energi volume satuan bahan dapat menyerap tanpa patah. Jika kurva tegangan – regangan tidak tersedia, modulus toughness (T) dapat ditentukan dengan mengalikan rata – rata tegangan yield dan tegangan Ultimate dari regangan yang gagal (Jastrzabski, 1987). Gambar 2 memperlihatkan diagram hubungan tegangan dan regangan menurut Jastrzabski, 1987.

$$T = \frac{\sigma_y \times \sigma_u}{2} \times \epsilon_f \quad (1)$$

$$T = \frac{2}{3} \sigma_u \times \epsilon_f \quad (2)$$

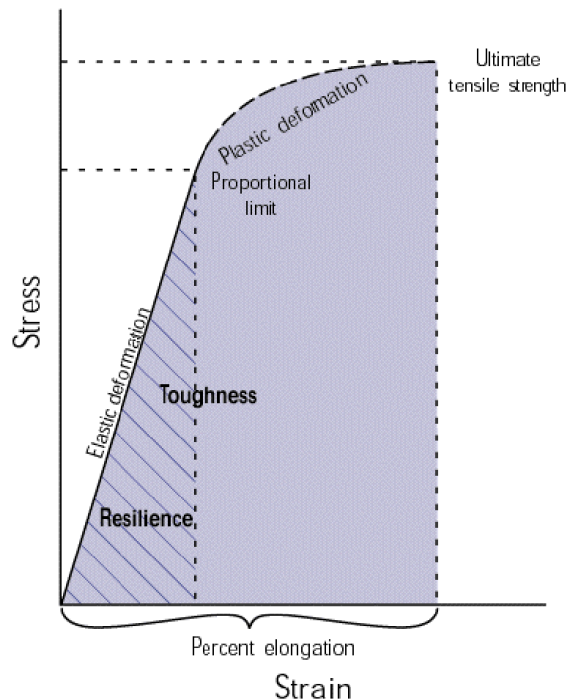
Dimana :

T = Toughness (MPa/mm)

σ_y = Tegangan yield (MPa)

σ_u = Tegangan ultimate (MPa)

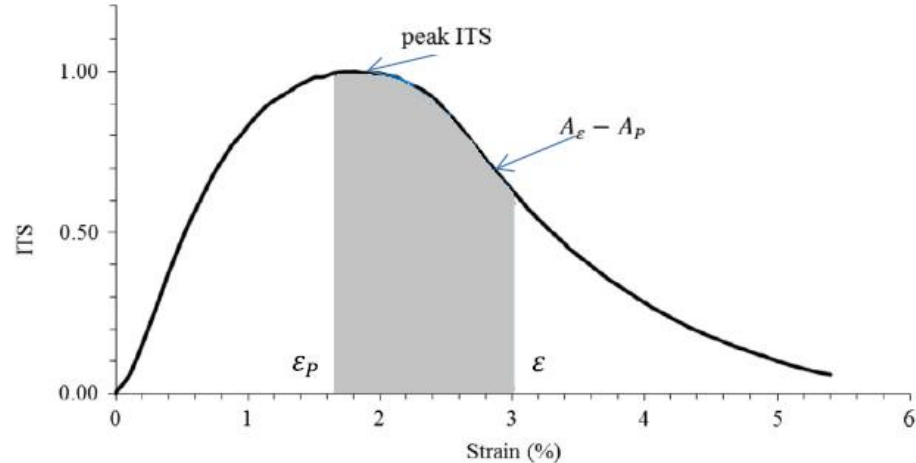
ϵ_f = Regangan putus (mm/mm)



Gambar 2. Diagram tegangan-regangan (Jastrzabski, 1987)

Untuk bahan yang memiliki kurva tegangan – regangan dengan bentuk parabola seperti besi cor dan beton, modulus toughness ditentukan dengan mengalikan dua per tiga dari kekuatan maksimal dari unit regangan saat putus (Jastrzabski, 1987).

Toughness Index merupakan parameter yang menggambarkan karakteristik ketangguhan yaitu kemampuan material untuk menyerap energi dan deformasi tanpa mengalami keruntuhan pada suatu campuran di daerah pasca tegangan *ultimate*, dihitung dari kurva tegangan-regangan (Modarres, 2013). Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara nilai ITS dengan strain. Nilai toughness indeks dapat dihitung dengan persamaan 3.



Gambar 3. Hubungan nilai ITS dan strain

$$TI = \frac{A_\epsilon - A_p}{\epsilon - \epsilon_p} \quad (3)$$

Dimana:

TI = Toughness Indeks

A_ϵ = Luasan kurva sampai regangan putus

A_p = Luasan kurva sampai regangan ultimate

ϵ = Regangan putus (mm/mm)

ϵ_p = Regangan ultimate (mm/mm)

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan September 2019.

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.
3. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no. 50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PET dengan alat pamarut manual.

4. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no. 50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PP dengan alat pamarut manual.

Rancangan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan dengan studi pustaka, yaitu untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian-penelitian penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. 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). Dibuak 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 plastik yaitu 0,5%, 1,0%, 1,5% 2,0%, 2,5% dan benda uji yang tidak mengandung limbah plastik. Limbah plastik yang digunakan terdiri dari dua jenis yang di kombinasikan yaitu PET dan PP. Perbandingan antara limbah plastik PET dan PP adalah 0, 25, 50, 75 dan 100%). Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal sesuai dengan aturan yang terdapat dalam SNI 06-2489-1991.

Setelah benda uji dinyatakan siap yaitu benda uji dalam kondisi KAO dan telah mengandung limbah plastik sebagai bahan tambah, kemudian dilakukan pengujian-pengujian; kuat tekan (*Unconfined Compression Test*), XRF dan XRD (komposisi senyawa dominan) dan pengujian statistik (uji-t) untuk mengetahui karakteristiknya. Metode yang digunakan adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada :

- a. Standar Nasional Indonesia (SNI),
- b. American Association for Testing and Material (ASTM),
- c. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- d. Strategic Higway Research Program (SHRP-A-383)

Jumlah Benda Uji

Kadar limbah plastik yang digunakan yaitu sebesar 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% 2,0% dan 2,5%. Persentase kadar limbah plastik yang digunakan berdasarkan dari berat total agregat dalam satu campuran 1200 gram. Adapun kadar bitumen dalam campuran yaitu didapatkan dari proporsi agregat gabungan dan kadar bitumen yang digunakan berdasarkan dari berat total campuran, sesuai persyaratan spesifikasi 2010 revisi 3. Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal optimum adalah sebesar 30 buah yang ditunjukkan pada Tabel 2 sedangkan Tabel 3 memperlihatkan jumlah benda uji untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan sebagai bahan tambah dari berat total agregat.

Tabel 2. Jumlah benda uji penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal (%)	Jumlah benda uji (buah)	Standar/metode
5,0	5	SNI 06-2489-1991 Tentang Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Metode Marshall
5,5	5	
6,0	5	
6,5	5	
7,0	5	
7,5	5	
Jumlah	30	

Tabel 3. Jumlah benda uji (dalam kondisi KAO) kombinasi limbah plastik PET dan PP

No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (0 : 100%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (100 : 0%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (25 : 75%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (75 : 25%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (50 : 50%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60

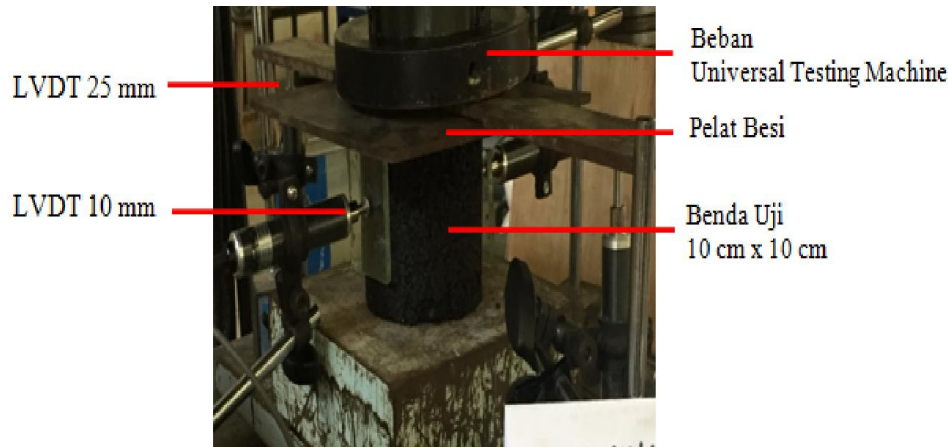
Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik PET dan PP sebagai bahan tambah adalah sebanyak 300 buah.

Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength)

Pengujian kuat tekan akan memperlihatkan keruntuhan/ keretakan yang terjadi setelah mengalami tegangan maksimum pada benda uji. Selain itu, benda uji juga akan mengalami perubahan panjang, yang dapat diketahui berdasarkan pembacaan nilai lendutan dari LVDT yang dipasang dan telah terhubung dengan *data logger*.

Standar pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-6758-2002 yang mengadopsi ASTM D1074-09. Sensor *Linear Variable Displacement Transducers* (LVDT) adalah suatu sensor yang bekerja berdasarkan prinsip trafo diferensial dengan gandengan variabel antara gandengan variabel antara kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada aplikasinya LVDT dapat digunakan sebagai sensor jarak, sensor sudut, dan sensor mekanik lainnya. Suatu LVDT pada dasarnya terdiri dari sebuah kumparan primer, dua buah kumparan sekunder, dan inti dari bahan feromagnetik. Kumparan-

kumparan tersebut dililitkan pada suatu selongsong, sedangkan inti besi ditempatkan didalam rongga selongsong tersebut. Selongsong ini terbuat dari bahan non-magnetik. Kumparan primer dililitkan ditengah selongsong, sedangkan kedua kumparan sekunder dililitkan disetiap sisi kumparan primer. Kedua kumparan sekunder ini dihubungkan seri secara berlawanan dengan jumlah lilitan yang sama.



Gambar 4. Pengujian kuat tekan

Gambar 4 menunjukkan sketsa proses pengujian kuat tekan pada campuran beraspal dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* dan LVDT yang dihubungkan ke *data logger* untuk mendapatkan pembacaan lendutan yang terjadi.

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Pemanfaatan limbah plastik jenis PET (Polyethylene Terephthalate) dan PP (Polypropylene) yang di kombinasikan sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC.
2. Mengetahui besarnya kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.
3. Merumuskan model hubungan antara nilai kuat tekan dengan kadar limbah plastik jenis PET dan limbah plastik jenis PP yang di kombinasikan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D1074-09 Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures.

Gaus A., Tjaronge M.W., Ali N., & Djamaluddin R. (2015) *Compressive strength of asphalt concrete binder corse (AC-BC) mixture using Buton Granular Asphalt (BGA)*. *Procedia Engineering, The 5th International Confrence of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, 125: 657-662.

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

Jastrzebski, Zbigniew D, 2004. *The Nature and Properties of Engineering Materials*, John Willey & Sons Inc. New York.

Mir, Anzar Hamid. 2015. *Use of Plastic Waste in Pavement Construction: An Example of Creative Waste Management*. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*.

Moghaddam Taher Baghaee, et.al. 2015. *Optimization of Asphalt and Modifier Contents for Polyethylene Terephthalate Modified Asphalt Mixtures Using Response Surface Methodology*. *Measurement, Elsevier*.

- Moghaddam, Taher Baghaee, et.al. 2012. Dynamic Properties of Stone Mastic Asphalt Mixtures Containing Waste Plastic Bottles. *Construction and Building Materials*, Elsevier. 34: 236-242.
- Moghaddam, Taher Baghaee, et.al. 2013. Utilization of Waste Plastic Bottles in Asphalt Mixture. *Journal of Engineering Science and Technology*. 8: 264-271.
- Nurminah, Mimi. 2002. Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Barang yang Dikemas, Fakultas Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Sumatera Utara, (Online), (<http://library.usu.ac.id/download/fp/fp-mimi.pdf> diakses 21 Agustus 2016).
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Starodubsky S., Blechman I., Livneh M., 1994. Stress-strain relationship for asphalt concrete in compression. *Material and structures*, 27, hal. 474 - 482.
- Suroso, Tjitjik Wasiah. 2009. Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Widajat D., Sjahdanulirwan M., 2009. Kinerja daur ulang campuran dingin dengan aspal busa pada lalu lintas berat. *Jurnal jalan – jembatan*, vol. 26, No. 3. Hal 256 – 265.
- Widodo, Sri & Setyaningsih, Ika. 2013. Modulus Elastisitas dan Umur Perkerasan Jalan Beton Aspal sebagai Fungsi Kepadatan. *Eco Rekayasa*.
- Wikipedia. 2016 a. Plastik, (Online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Plastik> diakses pada 18 Agustus 2016).