



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN
TERMAL KOMPOSIT POLIESTER TAK
JENUH/VINIL ESTER/ SERBUK KARET BAN
BEKAS SEBAGAI ALTERNATIF GREEN
AGGREGATE UNTUK CHIP SEAL PAVEMENT**

**DWIKI HAFIZHUL OKTORIO
NRP 02511340000078**

Dosen Pembimbing
Dr.Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND
THERMAL RESISTANCE OF COMPOSITE
UNSATURATED POLYESTER/ VINYL ESTER /
CRUMB RUBBER AS ALTERNATIVE GREEN
AGGREGATE FOR CHIP SEAL PAVEMENT**

DWIKI HAFIZHUL OKTORIO
NRP 02511340000078

Advisors

Dr.Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN KOMPOSIT
POLIESTER TAK JENUH / VINIL ESTER / SERBUK
KARET BAN BEKAS SEBAGAI ALTERNATIF GREEN
AGGREGATE UNTUK CHIP SEAL PAVEMENT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DWIKI HAFIZHUL OKTORIO

NRP. 025 11 34 0000 078

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc.....(Pembimbing I)
2. Amaliya Rasyida, S.T.M.Sc.....(Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN
TERMAL KOMPOSIT POLIESTER TAK
JENUH/VINIL ESTER/ SERBUK KARET BAN
BEKAS SEBAGAI ALTERNATIF GREEN
AGGREGATE UNTUK CHIP SEAL PAVEMENT**

Nama Mahasiswa : Dwiki Hafizhul Oktorio
NRP : 0251134000078
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Dr.Eng Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc.
Amaliya Rasyida, S.T.,M.Sc.

ABSTRAK

Semakin meningkatnya jumlah ban bekas menjadi permasalahan tersendiri. Permasalahan utama dari ban bekas adalah polusi udara yang ditimbulkan apabila dibakar, dan lamanya waktu penguraian ban bekas di alam. Mengingat jumlahnya yang besar dan memiliki potensi untuk didaur ulang menjadi alasan utama dilakukannya penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kembali karet dari ban bekas menjadi agregat chip seal sebagai material pengisi aspal jalan yang ramah lingkungan. Bahan-bahan yang digunakan antara lain unsaturated poliester, vinil ester, dan serbuk karet ban bekas. Unsaturated poliester dipilih karena mampu memberikan kekuatan mekanik yang baik dan harga yang terjangkau. Vinil ester digunakan karena memiliki sifat ketahanan air yang baik dan mampu berikatan dengan unsaturated poliester. Serbuk karet digunakan untuk meningkatkan kekuatan lentur. Modifikasi dilakukan dengan menjadikan serbuk karet sebagai material pengisi komposit kemudian dicampurkan ke dalam matriks gabungan poliester dan vinil ester. Secara umum variabel yang

digunakan dalam penelitian ini adalah variabel komposisi UPE/VE/CR 60/40/0, 60/35,5/5, 60/30/10, 60/25/15, 60/20/20, 60/15,5/25 60/10/30. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian tarik, kekerasan, FTIR, TGA, water absorption, uji distribusi partikel, uji densitas.. Dalam pengujian tarik ditunjukkan bahwa dengan adanya penambahan material pengisi serbuk karet akan menurunkan kekuatan tarik maksimum komposit dengan nilai kekuatan tarik maksimum didapat pada komposisi serbuk karet 0% sebesar 24,971 MPa. Hal yang sama juga terjadi pada pengujian kekerasan dan densitas dimana penambahan material pengisi serbuk karet akan menurunkan sifat kekerasan dan densitas komposit dengan nilai kekerasan dan densitas tertinggi didapat pada komposisi serbuk karet 0% sebesar 62,833 Shore D dan 1,064 gr/cm³. Akan tetapi, pada pengujian water absorption diketahui dengan adanya penambahan material pengisi serbuk karet akan menaikkan sifat absorbability dari komposit dan telah memenuhi persyaratan bata beton kualitas A. Selain itu, dari pengujian stabilitas thermal menggunakan instrumen TGA, didapatkan nilai T₅ tertinggi pada penambahan serbuk karet 15% dengan temperatur 380°C.

Kata kunci : Komposit, Unsaturated Poliester, Vinilester, Serbuk karet, Chip seal, Limbah ban bekas.

**STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND
THERMAL RESISTANCE OF COMPOSITE
UNSATURATED POLYESTER/ VINYL ESTER /
CRUMB RUBBER AS ALTERNATIVE GREEN
AGGREGATE FOR CHIP SEAL PAVEMENT**

Name : Dwiki Hafizhul Oktorio
NRP : 02511340000078
Department : Teknik Material
Advisors : Dr.Eng Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc.
Amaliya Rasyida, S.T.,M.Sc.

ABSTRAK

The increasing number of scrap tires becomes a problematic issue. The main problems of scrap tires are the air pollution produced when its burned, and a very long decomposition time of scrap tires in nature. Considering the abundant stockpile and its potential for recycling enough to urge this research. This study aims to reuse rubber from scrap tires become chip seal aggregate as an environmentally friendly asphalt filler material. The materials used include unsaturated polyester, vinyl ester, and crumb rubber. Unsaturated polyester is chosen because its ability to provide decent mechanical strength and reasonable price. Vinyl ester is used because it has good water resistance properties and is able to bind with unsaturated polyester. Crumb rubber is used to improve flexural strength. The modification is carried out by making crumb rubber as a composite filler material then mixed into a combined matrix of polyester and vinyl ester. In general, the variables used in this study are the composition variables UPE / VE / CR 60/40/0, 60 / 35,5 / 5, 60/30/10, 60/25/15, 60/20/20, 60 / 15.5 / 25 60/10/30. Tests carried

out in this study include tensile testing, hardness, FTIR, TGA, water absorption, particle distribution test, density test, and SEM. In tensile testing it is shown that the addition of crumb rubber will decrease the maximum composite tensile strength with maximum tensile strength value obtained on the crumb rubber 0% composition at 24.971 MPa. The same phenomenon also happened on hardness and density testing where the addition of crumb rubber will decrease the hardness and composite density with the highest hardness and density values obtained on the Crumb Rubber 0% composition at 62.833 Shore D at 1.064 gr / cm³. However, In water absorption test, it is known by the addition of crumb rubber will increase the water absorbability and has met the requirements for grade A quality paving block. Furthermore, in thermal stability test, it is obtained the highest T₅ value at filler addition 15% with temperature 380°C.

Kata kunci : Composite, Unsaturated Polyester, Vinyl ester, Crumb rubber, Chip seal, Scrap tire.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Sifat Mekanik dan Ketahanan Termal Komposit Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas sebagai Alternatif Green Aggregate Untuk Chip Seal Pavement**”. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal memulai perkuliahan di ITS hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga atas semua doa, dukungan moril dan materiil, pengertian dan cinta yang telah diberikan selama ini
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat, waktu, tenaga, dan pikiran.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T.,M.Sc. selaku dosen *co*-pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan semangat.
5. Ibu Dian Mugni Feliicia S.T., M.Sc selaku dosen wali yang senantiasa menyemangati dan percaya.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
7. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.
10. Keluarga HMMT dan MT15 yang selalu membantu selama masa perkuliahan.

11. Ardhya Adhityameidy Andaru S.T., selaku teman/ mentor / motivator selama penulisan Tugas Akhir ini
12. Suswanto selaku teman seperjuangan di Laboratorium Inovatif.
13. Evi, Arief, dan Yunus, selaku teman, alumni Laboratorium Inovatif, dan pembimbing eksternal selama penulisan tugas akhir.
14. Adiyaksa, Asad, Yudhistira, Ilmi, Audrey, Mas Aldi, Mustafid dan sahabat-sahabat lainnya yang tanpa mengenal letih, terus menyemangati penulis selama pahit getir perjuangan Tugas Akhir ini.
15. Rekan-rekan sejawat civitas akademika kontrakan KNP 2014-2016, dan kontraan Belantara 2016-2017 yang selalu menjadi tempat berbagi tawa, kisah haru, dan heroisme Islam.
16. Last but not least, thanks to myself to realize this long endeavour converting daydream become best masterpiece of myself. Ever.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu membantu pengembangan komposit berbahan dasar karet ban bekas sebagai salah satu upaya penyelamatan alam. Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Chip Seal	5
2.2 Beton.....	8
2.3 Paving Block.....	15
2.4 Komposit	17
2.5 Vinil Ester.....	20
2.6 Unsaturated Poliester.....	25
2.7 Serbuk Limbah Karet Ban	27
2.8 Penelitian Terdahulu.....	35

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	44
3.2 Bahan Penelitian	45
3.3 Pengujian	46
3.4 Peralatan Penelitian	50
3.5 Variabel Penelitian	51
3.6 Prosedur Penelitian	51

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Ukuran Partikel	54
4.2 Morfologi dan Struktur Mikro	55
4.3 Struktur Ikatan dan Gugus Fungsi	60
4.4 Kekuatan Kompresi	62
4.5 Sifat Kekerasan.....	63
4.4 Kekuatan Tarik	66
4.7 Stabilitas Thermal.....	69
4.8 Densitas.....	71
4.9 Water Absorbability.....	73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78

DAFTAR PUSTAKA **xix**

BIODATA PENULIS **xxv**

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jalan rusak yang telah diberi chip seal (B) dan belum (A)	6
Gambar 2.2	Jenis-jenis komposit berdasarkan geometri penguatnya	17
Gambar 2.3	Reaksi sintesis resin Vinil Ester	19
Gambar 2.4	Sintesis resin Unsaturated Poliester	21
Gambar 2.5	Reaksi polimerisasi Cis-1,4 Isoprena menjadi Cis-1,4 Isopropena	27
Gambar 2.6	Serbuk Ban Bekas	29
Gambar 2.7	Proses <i>Ambient Grinding</i>	30
Gambar 2.8	Proses Cryogenic Grinding	31
Gambar 2.9	Serbuk Rubber 1 Halus	33
Gambar 2.10	Serbuk Rubber 2 Kasar	34
Gambar 2.11	Distribusi ukuran partikel dari <i>rubber 1</i> dan <i>rubber 2</i>	34
Gambar 2.12	Sampel uji tarik (a) dan kompresi (b)	35
Gambar 2.13	Gambar Struktur Mikro dari Poliester-Karet dengan 10% Rubber 1.....	40
Gambar 2.14	Gambar struktur mikro karet-poliester dengan 40% rubber 2	40
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Mesin TGA.....	45
Gambar 3.3	Alat Durometer Shore D	45
Gambar 3.4	Dimensi Spesimen Uji Tarik	46
Gambar 3.5	Kurva Tegangan Regangan	46
Gambar 4.1	Kurva Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Karet .	55
Gambar 4.2	Perbandingan hasil FTIR komposit UPR/VE/SKBB dengan <i>filler</i> 15% dan tanpa <i>filler</i>	56
Gambar 4.3	Spektrum FTIR komposit UPR/VE/SKBB	57
Gambar 4.4	Dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan Komposit UPR/VE/SKBB	58

Gambar 4.5	Pengaruh Pengisi Serbuk Karet terhadap komposit UPR/VE/SKBB	60
Gambar 4.6	Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Komposit UPR/VE/SKBB	55
Gambar 4.7	Pengaruh Pengisi Serbuk Karet terhadap Kekuatan Tarik Komposit UPR/VE/SK	62
Gambar 4.8	Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA) dari Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	64
Gambar 4.9	Pengaruh Serbuk Karet Massa Jenis Polimer Komposit UPR/VE/SKkb.....	66
Gambar 4.10	Nilai absorbability komposit UPR/VE/SK dengan variasi komposisi material pengisi 0% - 30%	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis lapis bawah, kategori lalu lintas dan keberhasilan chip seal	8
Tabel 2.2	Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya	13
Tabel 2.3	Jenis-Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya	13
Tabel 2.4	Jenis-Jenis Beton Ringan Menurut Dobrowolski (1998) dan Neville and Brooks (1987)	15
Tabel 2.5	Sifat Termomekanik dari resin poliester special	24
Tabel 2.6	Aplikasi dari unsaturated polyester resin	25
Tabel 2.7	Tabel bahan-bahan dalam ban	28
Tabel 2.8	Pengaruh komposisi filler dan ukurannya terhadap kekuatan kompresi komposit	36
Tabel 2.9	Kekuatan tarik komposit vs komposisi filler	38
Tabel 2.10	Kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari komposit	38
Tabel 4.1	Distribusi Partikel Agregat Halus ASTM C 136 ..	54
Tabel 4.2	Distribusi Partikel Serbuk Karet Ban Bekas	54
Tabel 4.3	Nilai kekerasan komposit UPR/VE/SKBB pada variasi komposisi filler	59
Tabel 4.4	Pengaruh Pengisi Serbuk Karet terhadap Temperatur Dekomposisi T5 dan Tmaks dari Komposit UPR/VE/SKBB	64
Tabel 4.5	Nilai Absorbability Komposit UPR/VE/SKBB	68

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Setiap tahun tercipta kira-kira 1 miliar limbah ban di seluruh dunia dan angka ini diperkirakan akan terus meningkat di masa depan mengingat mobil dan truk dan moda transportasi darat terus berkembang di seluruh dunia (M.Li dkk, 2014). Diperkirakan pula terdapat sekitar 2-3 miliar limbah ban tertumpuk di Amerika Serikat. Limbah ban bekas terus meningkat dan menjadi sumber masalah dan polusi besar di seluruh dunia. Limbah ban sangatlah berbahaya bagi lingkungan. (B.Abu-Jdayil dkk, 2016). Oleh karena itu kebutuhan untuk daur ulang limbah ban bekas menjadi sangat penting.

Di dalam pabrik daur ulang limbah ban bekas, ban dipotong-potong menjadi serpihan kecil yang mengandung baja, serat, karet, dan serat polimer. Partikel-partikel ini kemudian ditimbun ke dalam tanah atau dilumatkan. Namun biasanya baja yang terkandung dalam serpihan kecil limbah ban dipisahkan terlebih dahulu dengan serpihan kecil karet dan serat polimer. Dilaporkan bahwa hampir 15-50% massa dari limbah ban yang telah melewati proses pemisahan ini sebagai campuran serat karet yang tak berguna dan akan dibuang ke pembuangan sampah. (B.Abu-Jdayil dkk, 2016).

Dewasa ini, laju penggunaan kembali limbah ban bekas lebih rendah dibandingkan dengan produksi ban. Hal ini membuat program daur ulang ban bekas semakin diminati. Pemanfaatan limbah ban bekas di bidang konstruksi telah diterima dan dipandang dapat menjadi solusi sumber mineral alami. Pemanfaatan kembali sumber mineral alami seperti karet juga bertujuan untuk meningkatkan nilai jual sebuah limbah. Limbah karet banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pada *carpet padding*, karet lantai, produk plastik, maupun sumber bahan bakar di



pembangkit listrik. Limbah karet bekas juga banyak digunakan sebagai modifier beton aspal (B.Abu-Jdayil dkk, 2016).

Limbah ban bekas yang telah diolah menjadi bentuk serbuk halus atau *crumb rubber* juga sering dimanfaatkan untuk menjadi agregat *chip seal*. *Chip seal* adalah suatu lapisan permukaan yang diberikan ke jalan raya sebagai bentuk *maintenance* dan proteksi dari potensi kerusakan. Lapisan *Chip seal* biasanya terdiri dari agregat mineral berupa kerikil yang ditambahkan dengan binder ataupun cairan emulsi seperti aspal cair yang diletakkan pada bagian jalan yang terlihat mulai mengalami kerusakan. Namun seiring dengan meningkatnya harga agregat mineral dan berkurangnya jumlah agregat mineral di bumi mendorong orang untuk mencari alternatif lain yang murah, terbarukan, namun memenuhi spesifikasi sifat agregat untuk *chip seal*. Keadaan ini kemudian membuat serbuk karet ban bekas menjadi semakin menarik.

Telah terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa *crumb rubber* cocok untuk digunakan sebagai agregat alami *chip seal* pengganti kerikil, namun hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas agregat alami dari *crumb rubber* ini hanya cocok untuk diaplikasikan pada jalan yang jarang dilalui kendaraan dan menerima beban yang tidak cukup besar.

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan gesek serbuk karet ban bekas agar penggunaannya lebih massif dan memenuhi persyaratan untuk jalan yang lebih padat kendaraan.

Pada penelitian ini akan dilakukan investigasi mengenai pembuatan komposit vinil ester (Ve), unsaturated polyester (UPE), dengan material pengisi serbuk karet ban bekas. Poliester dipilih menjadi matriks karena harganya yang murah, dapat dicuring dalam temperatur kamar, serta memiliki sifat mekanik yang baik dan ketahanan thermalnya yang tinggi. Khususnya pada isophthalic poliester yang memiliki kekuatan tarik dan kekuatan lentur yang lebih tinggi dibanding jenis poliester lainnya. Kemudian polimer lain yang digunakan sebagai campuran dalam



matriks adalah Vinil ester. Vinil ester dipilih karena kemampuannya yang dapat bereaksi bersama dengan poliester namun memiliki sifat ketahanan air yang lebih tinggi.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa terhadap sifat kekuatan tarik maksimum, kekerasan, dan kestabilan temperatur komposit tersebut lewat berbagai macam pengujian. Selanjutnya akan dilakukan komparasi hasil analisa tersebut dengan agregat mineral yang telah lebih dahulu digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan komposisi pengisi Serbuk Karet Ban Bekas terhadap sifat mekanik dan sifat fisik komposit Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas?
2. Bagaimanakah pengaruh penambahan komposisi pengisi Serbuk Karet Ban Bekas terhadap ketahanan thermal komposit Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencampuran material komposit dianggap tercampur homogen.
2. Pengaruh impuritas pada saat proses pencampuran diabaikan.
3. Temperatur selama proses pencampuran diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh pengisi serbuk karet ban bekas terhadap sifat mekanik dan sifat fisik komposit Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas.
2. Menganalisis pengaruh pengisi serbuk karet ban bekas terhadap ketahanan thermal komposit Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas.



1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh serbuk karet ban bekas terhadap sifat mekanik, stabilitas termal, komposit Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas. Sehingga didapatkan nilai optimum dari campuran tersebut dan dapat menjadi kandidat agregat campuran *chip seal pavement*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Chip Seal*

Chip seal adalah pemberian satu lapisan aspal yang diikuti dengan pemberian satu lapisan *chipping*. Pemberian aspal dan *chipping* ini dapat dilakukan beberapa kali dengan teknik dan ukuran yang sesuai dengan tipe chip seal yang diinginkan. Dibeberapa negara *chip seal* dikenal juga dengan nama *surface treatment*, *surface dressing* ataupun *spray seal*. Tujuan dari *chip seal* adalah untuk memberikan suatu lapisan penutup (seal) pada lapisan pondasi (base) dan untuk memberikan lapisan yang durabel dengan tahanan gelincir yang memadai seperti yang terlihat di gambar 2.1 (Santral, 2007; Hussain dkk, 2008; Edmund, 2008). Sedangkan di Amerika, *chip seal* hanya digunakan untuk merawat (treatment) lapisan beraspal lama agar lebih tahan terhadap kondisi lingkungan dan untuk memperbaiki tahanan gelincir jalan di daerah tanjakan atau turunan (Scott, 2008). Ada beberapa tipe *chip seal* atau *surface dressing* yang secara umum telah banyak digunakan, yaitu *single dressing*, *ranked in dressing*, *double dressing*, *inverted double dressing* dan *sandwich dressing*. Dibeberapa negara, selain tipe-tipe ini dikenal juga tipe lainnya seperti : *otto seal*, *cape seal*, *coke seal*, *inverted seal*, *graded aggregate seal* dan lain sebagainya.



Gambar 2.1 Jalan rusak yang belum diberi lapisan *chip seal* (A) dan jalan rusak yang telah diberi lapisan *chip seal* (B) (Yamin dan Sailendra, 2008).

Keberhasilan *chip seal* sangat ditentukan oleh kualitas agregat (mikro tekstur, kekerasan, kebersihan dan kelekatan). Keberhasilan *chip seal* dilihat dari ketahanannya terhadap kegemukan (*fattiness/bleeding/flushing*), pelepasan (*ravelling*) dan retak lelah (*fatigue cracking*) dan makro tekstur permukaan yang dihasilkan. Kedalaman makro tekstur yang dihasilkan harus cukup memadai (0,5 – 1 mm) untuk menjamin kontak antara roda kendaraan dengan permukaan jalan. Pemilihan tipe *chip seal*, ukuran agregat (makro tekstur), bentuk agregat dan kekasaran agregat (mikro tekstur) serta jenis aspal yang digunakan sangat menentukan kinerja *chip seal* yang dihasilkan. Untuk pekerjaan ini, tipikal ukuran *chip* yang digunakan umumnya 7, 10, 14, 16 dan bahkan 20 mm. Untuk double *chip seal*, perbandingan ukuran *chip* biasanya adalah 1 : 2. Sedangkan jenis aspal yang digunakan dapat berupa aspal keras, *Polymer Modified Bitumen* (PMB) ataupun *Polymer Modified Emulsion* (PME).



Menurut Trevor (2008-a), *chip seal* sangat populer digunakan di Afrika Selatan karena harganya lebih murah dibandingkan dengan *hot mix asphalt* dan *chip seal* telah terbukti dapat memberikan kinerja yang baik pada variasi kondisi lalu lintas, klas jalan dan bahkan pada variasi terrain dan lingkungan.

Untuk *chip* yang memiliki daya lekat (adhesi) yang rendah ataupun untuk memperpanjang umur *chip seal*, *precoating* pada *chip* yang digunakan perlu dilakukan untuk meningkatkan adesinya (Trevor, 2008). *Precoating* juga berguna untuk menghindari permasalahan yang berkaitan dengan debu ataupun kelembaban. *Precoating* dapat dilakukan dengan menggunakan aspal cair ataupun aspal emulsi yang mengandung adhesi agent 0,5 – 1% terhadap kandungan bitumen. Beberapa bahan tambah yang umumnya digunakan sebagai adhesi agent antara lain adalah amine, diamine, megamine ataupun lelamine. Dari pengalamannya selama 20 tahun di bidang *chip seal*, Trevor (2008-b) mengatakan bahwa pekerjaan yang menggunakan *chip seal* dapat dibuka setelah temperatur aspalnya di bawah 45°C. Untuk tempat-tempat yang dingin, dimana temperatur aspal cepat mengalami penurunan, pembukaan *chip seal* untuk lalu lintas sebaiknya setelah 2 jam terhitung setelah selesai pemadatan.

Chip seal dapat digunakan langsung di atas lapisan pondasi, di atas *chip seal* lama atau di atas lapisan beraspal baik untuk rural road ataupun untuk jalan-jalan utama dan jalan bebas hambatan. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan jenis lapisan bawah dan katagori lalu lintas dan tingkat keberhasilan yang dapat dicapai oleh *chip seal* (Cliff dkk, 2008). Walaupun *chip seal* dapat digunakan pada hampir seluruh jenis dan kondisi perkerasan, tetapi suatu studi yang dilakukan di Selandia Baru (Joana, 2008), menunjukkan bahwa *chip seal* tidak dapat mengakomodasi perkembangan lalu lintas berbeban berat (*tri axle and quad-axle trucks*). Hal ini ditunjukkan dengan munculnya kerusakan-kerusakan pada *chip seal* khususnya pada bagian tepinya.



Tabel 2.1 Jenis lapis bawah, kategori lalu lintas dan keberhasilan chip seal (Yamin dan Sailendra, 2008)

Existing Surface Characteristics	Traffic Category							
	0 - 50	51 -125	121 - 250	250 - 500	501 - 1250	1251 - 2000	2001 - 3250	> 3250
Very Hard & homogeneous	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Hard & homogeneous	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Normal & homogeneous	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Soft & homogeneous	Yes	Yes	Yes	Yes	Texture	Texture	Expert	No
Very Soft & homogeneous	Yes	Yes	Yes	Texture	Expert	Expert	No	No
Fatting up in wheel tracks	Yes	Yes	Texture	Texture	Expert	Expert	No	No
High macrotexture or fretted	Yes	Yes	Yes	Yes	Defects	Defects	Expert	No
Porous	Yes	Yes	Yes	Defects	Defects	Expert	No	No
Very variable	Defects	Defects	Defects	Defects	Defects	Expert	Expert	No
Extensive patching	Expert	Expert	Expert	Expert	Expert	No	No	No
Severe bleeding & extensive blackening	No	No	No	No	No	No	No	No

Jenis *chip seal* dan ukuran *chip* yang digunakan ditentukan berdasarkan kekerasan lapisan yang akan dilindungi dan jumlah lalu lintas harian dalam setahun (AADT, *Average Annual daily Traffic*). Untuk perencanaan *chip seal*, beberapa negara menggunakan data lalu lintas dalam bentuk AADT secara langsung tetapi ada pula yang mengekuivalensikannya terhadap kendaraan ringan (ELV, *Equivalent Light Vehicle*, yaitu kendaraan dengan berat 5 ton), ataupun mengekuivalensikannya terhadap kendaraan berat (EHV, *Equivalent Heavy Vehicle*. EHV = 10 sampai 40 ELV).

Kekerasan lapisan ditentukan berdasarkan pengujian penetrasi dengan menggunakan Ball Penetrometer. Dibeberapa negara, selain kekerasan base dan lalu lintas, pemilihan tipe *chip seal* yang akan digunakan ditentukan juga berdasarkan tingkat kebisingan.

2.2 Beton

Beton adalah sejenis batu buatan manusia yang terbuat dari pencampuran antara *gel materials*, agregat kasar-halus, dan air dengan rasio yang proporsional yang akan mengeras dan memadat. *Concrete* atau beton adalah salah satu material



konstruksi yang sering digunakan untuk pembuatan struktur bangunan.

Beton ini sebenarnya adalah salah satu jenis dari komposit *large-particle*. Beton adalah material komposit yang terdiri dari partikel agregat yang terikat pada *solid body* dengan sebuah medium berupa semen. Jenis polimer yang paling banyak ditemukan adalah yang terbuat dari semen *Portland* dan *Asphaltic* di mana agregatnya berupa kerikil dan pasir. (Zhang, 2010)

2.2.1 Klasifikasi Beton

- 1) Berdasarkan jenis semen: beton semen, beton gipsum, beton aspal dan beton polimer.
- 2) Berdasarkan massa jenis: beton berat (massa jenis $> 2500\text{kg/m}^3$), beton biasa (massa jenis 1900 kg/ m^3 - 2500 kg/m^3), beton ringan (massa jenis dari 600 kg/m^3 - 1900 kg/m^3), dan beton super ringan (massa jenis $< 600\text{kg/m}^3$).
- 3) Berdasarkan aplikasinya, ada: beton struktural, beton hidrolik, beton hias, dan beton khusus (tahan panas, tahan asam, tahan alkali, dan beton anti radiasi dan sebagainya).
- 4) Berdasarkan metode konstruksi, ada: beton pompa, beton semprot, beton pemadatan bergetar, beton sentrifugal dan sebagainya.
- 5) Dengan campuran, ada: beton fly ash, beton silika, ledakan halus beton terak tungku, beton serat, dan lain-lain.

2.2.2 Beton Semen Portland

Bahan-bahan untuk beton ini adalah semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air. Partikel agregat bertindak sebagai material *filler* untuk mengurangi keseluruhan biaya produk beton karena harganya yang murah,



karena harga semen yang relatif mahal. Untuk mendapatkan kekuatan dan *workability* optimum pada campuran beton, bahan harus ditambahkan dalam proporsi yang benar.

Partikel pasir halus harus mengisi ruang kosong di antara kerikil partikel. Biasanya agregat ini terdiri dari antara 60% dan 80% dari total volume. Jumlah dari campuran air dan semen harus cukup untuk melapisi semua pasir dan partikel kerikil, jika tidak, ikatan semen tidak akan lengkap. Selanjutnya, semua konstituen harus dicampur secara menyeluruh. Pengikatan yang sempurna antara semen dan partikel agregat bergantung pada penambahan jumlah air yang benar. Terlalu sedikit air menyebabkan ikatan tidak sempurna, dan jika terlalu banyak maka akan menghasilkan porositas yang berlebihan.

Beton semen portland adalah salah satu material konstruksi paling umum digunakan, terutama karena bisa dituang dan mengeras pada temperatur kamar, dan bahkan pada saat terendam di air. Namun, sebagai material struktural untuk bangunan, ada beberapa keterbatasan dan kerugian. Seperti kebanyakan keramik, beton semen portland relatif lemah dan sangat rapuh. Kekuatan tariknya kira-kira 10 sampai 15 kali lebih kecil dari kekuatan tekannya. Selain itu, struktur beton besar dapat mengalami pemuaian thermal dan kontraksi dengan naik turunnya temperatur. Air juga dapat menembus ke pori-pori luar, yang bisa menyebabkan retak hebat dalam dingin cuaca sebagai konsekuensi siklus pembekuan-pencairan. Sebagian besar kekurangan ini dapat dihilangkan atau diperbaiki dengan penambahan zat aditif. (Zhang, 2010)



2.2.3 Reinforced Concrete

Kekuatan dari beton semen portland dapat ditingkatkan dengan penambahan penguat berupa batang baja, ataupun kabel digabungkan ke dalam struktur dari beton tersebut. *Reinforcement* menambahkan struktur penguat yang dapat menahan tegangan tarik, kompresi, maupun geser. Baja dapat bertindak sebagai bahan penguat yang karena koefisien pemuaian thermalnya yang hampir sama dengan beton. Selain itu, pada lingkungan semen, baja tidak cepat terkorosi dan ikatan perekat yang kuat akan terbentuk antara baja dan beton tersebut. Semen beton Portland juga dapat diperkuat dengan mencampur serat bahan dari bahan yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi seperti kaca, baja, nilon, dan *polyethylene*. (Zhang, 2010)

2.2.4 Karakteristik Beton

- 1) Cocok untuk digunakan untuk: campuran yang memiliki plastisitas yang baik yang dapat dicetak menjadi komponen dan struktur dalam berbagai bentuk dan ukuran.
- 2) Murah: bahan baku berlimpah dan tersedia. Lebih dari 80% dari komposisi beton adalah pasir dan batu yang melimpah, konsumsi energi rendah, dan sesuai dengan prinsip ekonomi.
- 3) Kekuatan tinggi dan tahan lama: kekuatan beton biasa adalah 20 – 55 MPa dengan daya tahan yang baik.
- 4) Mudah disesuaikan: beton dengan kegunaan yang berbeda-beda dapat dibuat hanya dengan mengubah variasi jenis dan jumlah kuantitas material penyusunnya untuk memenuhi berbagai tuntutan proyek. Batang baja dapat ditambahkan ke beton untuk meningkatkan kekuatannya, dan jenis beton ini adalah salah satu jenis material komposit (beton



bertulang) yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lengkung untuk memenuhi kebutuhan berbagai macam struktur.

- 5) Ramah lingkungan: beton dapat memanfaatkan limbah industri secara penuh, seperti terak, *fly ash* dan lainnya untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Kekurangan utamanya adalah bobot mati yang tinggi, kekuatan tarik yang rendah, rapuh, dan mudah retak.

2.2.5 Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang mempunyai berat jenis beton yang lebih kecil dari beton normal. Pada dasarnya, semua jenis beton ringan dibuat dengan rongga dalam beton dengan jumlah besar. Menurut SNI-03- 2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m^3 . Oleh karena itu, berdasarkan cara mendapatkan beton ringan menurut Tjokrodimuljo (1996), beton ringan dapat dibedakan menjadi 3 jenis dasar sebagai berikut :

1. Beton agregat ringan.
2. Beton busa.
3. Beton tanpa agregat halus (non pasir).

Menurut Tjokrodimuljo (2003), beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis beton antara $1000\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$. Berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya beton dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.2**



Tabel 2.2 Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (kg/m^3)	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1000	Non Struktur
Beton ringan	1000-2000	Struktur ringan
Beton normal	2300-2500	Struktur
Beton berat	> 3000	Perisai sinar X

Menurut SK SNI 03-3449-2002 beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan beton dengan berat jenis di bawah 1850 kg/m^3 dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan dengan tujuan struktural kuat tekan minimum 17,24 MPa dan maksimum 41,36 MPa. Sedangkan beton isolasi adalah beton ringan yang mempunyai berat isi kering oven maksimum 1440 kg/m^3 . Dengan kuat tekan maksimum 17,24 MPa dan kuat tekan minimumnya adalah 6,68 MPa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Jenis-Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (kg/m^3)	
Struktural			Agregat yang dibuat melalui proses



Minimum Maksimum	17,24 41,36	1400 1850	pemanasan batu serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau batu terbang
Struktural ringan Minimum Maksimum	 6,89 17,24	 800 1400	Agregat mangan alami seperti scoria atau batu apung
Struktur sangat ringan, sebagai isolasi, maksimum		800	Pendit atau vermikulit

Menurut Dobrowolski (1998), beton ringan mempunyai berat jenis di bawah 1900 kg/m^3 . Menurut Neville dan Brooks (1987), beton ringan mempunyai berat jenis di bawah 1800 kg/m^3 . Jenis-jenis beton ringan menurut Dobrowolski (1998) dan Neville dan Brooks (1987) dapat dikelompokkan sesuai **Tabel 2.4** di bawah ini.



Tabel 2.4 Jenis-Jenis Beton Ringan Menurut Dobrowolski (1998) dan Neville and Brooks (1987)

Sumber	Jenis Beton Ringan	Berat Jenis Beton (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
Dobrowolski (1998)	Beton dengan berat jenis rendah	240-800	0,35-6,9
	Beton ringan dengan kekuatan menengah	800-1440	6,9-17,3
	Beton ringan struktural	1440-1900	> 17,3
Neville and Brooks (1987)	Beton ringan penahan panas	< 800	0,7-7
	Beton ringan untuk pemasangan batu	500-800	7,0-14,0
	Beton ringan struktur	1400-1800	> 17

2.3 *Paving Block*

Bata Beton (*Paving Block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. *Paving block* sangat sering dijumpai di wilayah jalanan, pelataran parkir, ataupun halaman rumah di seluruh dunia.



Gambar 2.12 Paving Block menggunakan *Portland cement*

Paving Block diklasifikasikan ke dalam empat jenis sesuai dengan penggunaannya:

- Bata beton mutu A: digunakan untuk jalan
- Bata beton mutu B: digunakan untuk pelataran parkir
- Bata beton mutu C: digunakan untuk pejalan kaki
- Bata beton mutu D: digunakan untuk taman



Tabel 2.4 Tabel Klasifikasi Mutu *Paving Block*

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air Rata-rata maks.
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

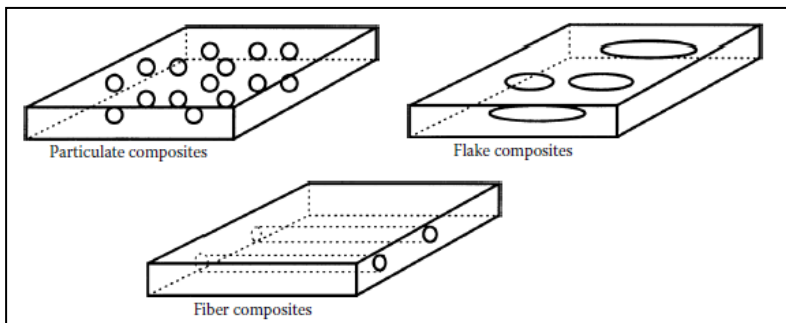
2.4 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik. Dengan adanya penggabungan antara dua komponen tersebut, maka akan dihasilkan material baru yang memiliki sifat unggul dibandingkan material penyusunnya. Komposit tersusun atas dua atau lebih fase yang berbeda, yaitu fase diskontinyu yang lebih kuat dan kaku biasanya disebut material penguat dan fase kontinyu yang mengikat material penguat dan memberi bentuk biasanya disebut matiks. Sifat komposit dipengaruhi oleh material pembentuknya, distribusi fase diskontinyu, dan interaksi antara material pembentuknya. Kebanyakan material komposit dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan dan memperbaiki sifat-sifat mekaniknya seperti kekuatan, ketangguhan, kekakuan, dan kinerjanya pada temperatur tinggi.



Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan geometri dari penguatnya ataupun dari tipe matriksnya. Untuk komposit berdasarkan geometri penguatnya dapat dilihat di gambar 2.2. Pada klasifikasi berdasarkan geometri dari penguatnya dapat kita temui :

- a. Penguat berbentuk partikel, komposit dengan penguat partikel mengandung partikel yang tertanam didalam matriks, seperti pada paduan atau keramik. Komposit jenis ini biasanya bersifat isotropic karena partikel yang dimasukan secara acak. Komposit partikel ini memiliki kelebihan seperti menaikkan kekuatan, temperatur kerja, ketahanan terhadap oksidasi dan sebagainya.
- b. Penguat berbentuk serpihan, komposit yang mengandung penguat berbentuk pipih didalam matriks. Komposit berpenguat serpihan memiliki kelebihan pada modulus elastisitas, namun serpihan ini tidaklah mudah untuk diorientasikan dan terbatas pada material yang dapat digunakan.
- c. Penguat berbentuk serat, komposit yang mengandung penguat berupa serat panjang ataupun pendek. Serat secara umum memiliki sifat non-isotropik.
- d. Penguat berukuran nano, komposit jenis ini memiliki penguat dengan skala nanometer (10^{-9} m). Rentang ukuran yang termasuk dalam jenis nanokomposite ialah yang memiliki konstituen berukuran kurang dari 100 nm. Pada skala ini sifat material yang terbentuk berbeda dengan material serbuk. Komposit dengan skala nanometer secara garis besar memiliki sifat yang lebih baik daripada komposit dengan skala makro. Namun tidak semua memiliki sifat yang lebih baik, pada beberapa hal ditemui adanya penurunan ketangguhan dan kekuatan impact. (Autar K.Kaw, 2006)



Gambar 2.2 Jenis-jenis komposit berdasarkan geometri penguat (Autar, 2006).

Berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu PMCs (*Polymer Matrix Composites*) yang menggunakan polimer sebagai matriksnya, CMCs (*Ceramic Matrix Composites*) dengan matriks keramik, MMCs (*Metal Matrix Composites*) yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Komposit Matrik Polimer merupakan gabungan dari sekurang-kurangnya dua jenis material dimana salah satunya adalah polimer sebagai matrik induk (matriks) dan material yang kedua sebagai penguat.

Fungsi penting dari material matriks menurut (Mazumar, 2002) adalah :

- a. Material matriks mengikat serat atau serbuk bersama-sama dan menghantarkan beban ke serat dan serbuk. Matriks memberikan kekakuan dan bentuk terhadap struktur.
- b. Matriks mengisolasi serat atau serbuk sehingga masing-masing dapat bekerja secara terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat propagasi retak.
- c. Matriks memberikan kualitas permukaan akhir yang baik dan membantu produksi benda jadi atau mendekati bentuk akhir komponen.

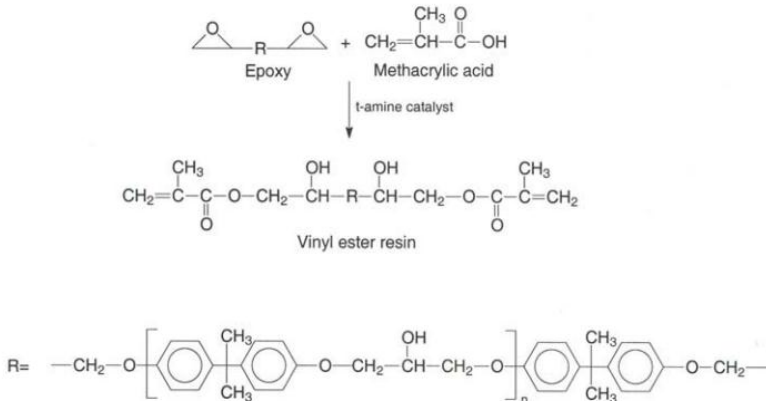


- d. Matriks memberikan perlindungan untuk serat atau serbuk penguat terhadap serangan kimia (misalnya korosi) dan kerusakan mekanik (misalnya aus).
- e. Bergantung pada bahan matriks yang dipilih, memengaruhi karakteristik unjuk kerja yang duktilitas(liat, kenyal), kekuatan impak, dan lain-lain. Sebuah matriks yang kenyal akan meningkatkan ketangguhan struktur. Untuk persyaratan ketangguhan yang lebih tinggi, bisa dipilih komposit berbasis thermoplastik.
- f. Mode kegagalan sebagian besar dipengaruhi oleh jenis bahan matriks yang digunakan dalam komposisi dan juga kompatibilitasnya terhadap serat.

2.5 Vinil Ester

Vinil ester merupakan anggota terbaru dalam kelas polimer termoset. Meskipun beberapa jenis resin serupa telah disintesis dalam jumlah yang lebih kecil sebelum akhir tahun 1950-an hingga pada akhirnya pada pertengahan 1960-an mulai dipasarkan oleh Shell and Dow Chemical dan menjadi bagian penting dalam dunia industri saat ini. Vinil ester termasuk dalam resin tidak jenuh yang terbuat dari reaksi asam karboksilik tak jenuh dengan epoksi seperti resin epoksi bisfenol. (S.T. Peters, 1998).

Vinil ester memiliki sifat mekanik seperti epoksi dan dapat diproses dalam keadaan seperti poliester resin. Sama seperti resin UPE, VE resin dapat dicuring dengan inisiator yang dikombinasikan dengan akselerator. VE biasanya dapat dicuring dalam temperatur kamar dengan menggunakan MEKP (1-2 wt%) dan kobalt naphthenate (0.2-0.4%). Reaksi sintesis VE dapat dilihat pada gambar 2.3 (Ratna Debdatta, 2009)



Gambar 2.3 Reaksi sintesis resin VE (Debdatta, 2009)

2.4.2. Sifat dari resin VE

Tidak seperti resin UPE, proses unsaturasi hanya terjadi akhir proses sintesis yang mana menghasilkan crosslink yang lebih sedikit dibandingkan dengan jaringan yang dimiliki resin UPE. Karena lebih sedikitnya crosslink dan sambungan ether didalam strukturnya, resin VE memiliki fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan resin UPE. Selama reaksi antara epoksi resin dengan asam karboksilat, beberapa gugus hidroksil terbentuk di sepanjang rantai VE. Gugus hidroksil ini membentuk ikatan hidrogen dengan gugus sejenisnya menghasilkan serat gelas. Oleh karenanya resin VE menawarkan adhesi yang lebih baik dengan serat gelas atau substrat polar lainnya dibandingkan dengan resin UPE. Resin VE memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan resin UPE pada umumnya. Hal ini berasal dari banyaknya jumlah atom dalam gugus ester, rendahnya konsentrasi gugus ester (Debdatta, 2009).

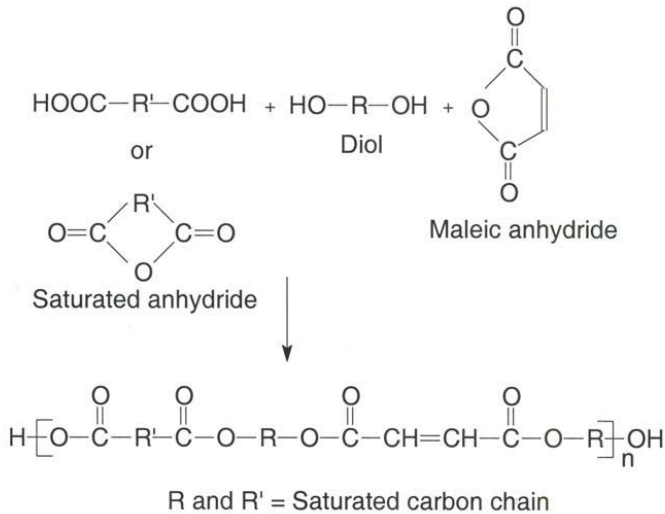


2.4.3 Aplikasi resin VE

Resin VE hampir selalu dapat digunakan pada untuk membuat sesuatu yang menggunakan UPE. Khususnya, VE dapat mengganti logam dan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) berbasis UPE untuk aplikasi ketahanan korosi. Aplikasi yang digunakan adalah dalam tangki, pipa dan saluran untuk asam cair, pelarut dan bahan bakar, bejana tahan korosi, bejana presipitadm dan kolom proses. Dalam industri listrik, FRP berbasis VE diguakan untuk membuat komponen stasiun pembangkit listrik, transmisi dan distribusi, antena dan televisi. VE juga dapat digunakan untuk membuat peralatan perawatan listrik seperti tangga dan tiang. Ketahanan terhadap air yang tinggi membuatnya cocok untuk digunakan dalam AC, *humidifier*, dan peralatan rumah tangga lainnya. Resin VE juga memiliki peforma yang lebih baik untuk aplikasi dalam air dibandingkan resin epoksi. Oleh karenanya resin VE umumnya digunakan dalam aplikasi kelautan. Contohnya adalah dalam konstruksi lambung kapal (Debdatta, 2009).

2.5 Unsaturated Polyesters

Poliester adalah makromolekul yang terbuat dari reaksi diacid atau dianhydride dengan senyawa dihidroksi (diols). Untuk membuat poliester tak jenuh, maleic anhydride ataupun asam fumarat digunakan sebagai tambahan pada asam jenuh, yang mana akan membuat struktur berubah menjadi tak jenuh. Jenis anhydride yang paling banyak digunakan adalah maleic anhyrdride (tak jenuh) dan pthalic anhydride (jenuh). Diols yang paling umum digunakan adalah etilen glikol atau propilene glikol. Pengguanaandaru anhyrdide tak jenuh sangatlah penting yakni untuk membuat struktur menjadi tak jenuh, yang mana diperlukan untuk membuat curing si resin oleh polimerisasi radikal bebas. Reaksi kimia sintesis UPE ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah



Gambar 2.4 Sintesis resin UPE (Debdatta, 2009)

Laju sintesis poliester lewat polikondensasi bergantung pada struktur kimia dari reaktan (diacid dan diol) dan stoikimetri dari reaktan. Pada umumnya, glikol digunakan sedikit berlebihan untuk mengkompensasi kemungkinan hilangnya glikol lewat penguapan. Reaksi terjadi dalam dua tahapan utama : pembentukan dari monoester diikuti oleh polikondensasi di temperatur tinggi. Reaksi yang terjadi adalah reversibel dan menghasilkan air. Oleh karenanya penting untuk tetap meastikan air yang terproduksi dikeluarkan. Air dikeluarkan secara kontinyu dari campuran reaksi dengan menggunakan vakum. Tipikal beratmolekul dari UPE adalah 3000-5000g/mol (Debdatta, 2009).

2.5.1 Jenis Poliester

Poliester resin dapat digolongkan menjadi dua kelompok besar berdasarkan komposisi dan aplikasinya yakni poliester resin untuk penggunaan umum dan poliester khusus.



General purpose resin

Terbuat dari material dengan harga murah dan digunakan tanpa modifikasi. Kriteria utamanya adalah resin memiliki harga yang murah dan dapat menghasilkan struktur jaringan yang sesuai dengan sifat-sifat fisik dalam waktu yang dapat ditolerir. Untuk resin umum, harga dari bahan-bahannya menjadi pertimbangan utama daripada performa. Umumnya propilene glikol, dietilen glikol, pthalic anhydride dan sedikit maleic anhydride adalah bahan-bahan yang digunakan untuk sintesis poliester tujuan umum (Ratna Debdatta, 2009).

Di Indonesia sendiri salah satu *supplier* Poliester dan bahan kimia lainnya adalah PT. Justus Kimiaraya. PT. Justus sendiri menjual tiga jenis resin *Unsaturated Polyester* yakni ortho-pthalic resin, iso-pthalic resin dan bisphenolic resin.

Ortho-pthalic resin

Tipe resin ini tahan terhadap air (suhu normal) dan asam lemah. Produk unggulannya adalah YUKALAC® 157 BQTN-EX. Tipe jenis ini sangat populer di bidang pembuatan kapal di Indonesia. Bidang aplikasi lainnya antara lain: tangki, alat saniter, ornFRP Pipe Justusamen dan lain-lain. YUKALAC® 157 BQTN-EX ber-sertifikasi LR Register & FDA. YUKALAC® 157 BQTN-EX juga sudah ber-sertifikasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

Iso-pthalic resin

Tipe resin ini tahan terhadap asam, garam, alkali lemah dan panas. Produk unggulannya antara lain adalah YUKALAC® FW-21-EXL dan YUKALAC® 150 HRN-EX. Bidang aplikasi antara lain: pembuatan tangki atau bak tahan kimia, pipa, pelapisan FRP dan lain-lain. Resin tipe Iso YUKALAC® GELCOAT G-2141 T-EX dan YUKALAC® GELCOAT G-123 T-EX juga umum digunakan sebagai GELCOAT dalam produk2 maritim. YUKALAC® GELCOAT G-2141 T-EX dan YUKALAC® GELCOAT G-123 T-EX ber-sertifikasi LR Register. YUKALAC® GELCOAT G-2141 T-EX dan



YUKALAC® GELCOAT G-123 T-EX juga sudah ber-sertifikasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

Bisphenolic resin

Tipe resin ini tahan terhadap asam, garam, alkali dan panas. Produk unggulan kami adalah YUKALAC® LP-1Q-EX. Bidang aplikasi antara lain: pembuatan tangki atau bak tahan kimia, pipa, pelapisan FRP dan lain-lain (Justus, 2011).

2.5.2 Sifat dari resin UPE

Resin UPE paling banyak digunakan untuk komposit berpenguat serat. Resin UPE terbagi ke dalam beberapa jenis produk yang dimana tiap jenis memiliki sifat spesifik tersendiri. Isophthalic resin memiliki kekuatan tarik dan kelenturan yang lebih tinggi dibanding orthophthalic asam resin untuk keperluan umum. Hal ini karena resin Isophthalic lebih linear dengan UPE yang lebih banyak jika dibandingkan resin orthophthalic asam. Resin BPA fumarate dan chlorendic memiliki struktur yang lebih rigid yang ditunjukkan oleh tingginya Heat Distortion Temperature (HDT). Hal ini dikarenakan BPA fumarat dan resin chlorendic lebih banyak memiliki struktur aromatik. Akibatnya, mereka menjadi lebih getas, dan membuat kekuatan mekanik yang rendah. Namun, karena strukturnya yang rigid, BPA fumarat dan resin chlorendic mampu menawarkan ketahanan korosi dan kimia yang mumpuni.



Tabel 2.6 Sifat Termomekanik dari resin poliester special
(Debdatta Ratna,2009)

Table 2.6 Themomechanical properties of speciality polyester resins						
Resin type	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	HDT (°C)
General Purpose	55	3.4	2.1	80	3.9	80
Isophthalic	75	3.5	3.3	130	3.6	90
BPA-fumarate	40	2.8	1.4	110	3.4	130
Chlorendic	20	3.4	1.2	120	3.9	140

Aplikasi resin UPE

Resin UPE dapat digunakan untuk membuat bahan polimer atau digabungkan dengan pengisi partikelir atau serat. Resin ini telah dikembangkan untuk menjawab permintaan dari material yang ringan dalam aplikasi militer. Fungsi pertama UPE adalah pada radime. Karena kelebihanannya seperti mudah untuk diproses dan harga yang murah, resin ini banyak digunakan dalam aplikasi yang beragam seperti bahan tangki, pipa, dan roda gigi dalam elektronik. Beberapa produk penting yang terbuat dari hasil cetak resin UPE adalah bungkus pelindung sambungan elektronik, gagang pintu, payung, pisau dan bahan pelengkap furniture. Resin dengan serat menggunakan kapur, silika, tanah liat biasa digunakan untuk pijakan lantai. Banyak penggunaan dari matriks UPE untuk komposit berpenguat serat seperti dalam aplikasi di otomotif dan industri konstruksi seperti perahu, antena televisi.

Dalam dunia konstruksi, Fiber reinforced plastic (FRP) bermatriks UPE telah menggantikan aluminium, stainless steel dan kayu karena harganya yang murah, mudah dibersihkan dan dibentuk. Contoh dari aplikasinya adalah pada panel surya, komponen mobil, pelapis dinding dll. Produk FRP-UPE banyak



digunakan untuk membuat alat sanitasi seperti bath tubs, showers, toilet, dan tempat cuci piring. Secara umum aplikasi dari UPE resin dapat dilihat pada tabel 2.6 dibawah (Ratna Debdatta, 2009).

Tabel 2.6 Aplikasi dari unsaturated polyester resin (Ratna Debdatta, 2009).

Industries/fields	Product
Automotive industry, construction industry, household appliances, electrical appliances, military application, aircraft and aerospace industries	Automobile parts like hood, fenders, panels, bodies, aircraft components, furniture, electrical encapsulation, household articles, fibre composites for boat and other marine applications, solar energy panels, building panels, fuel tanks, radomes, tractor parts, transformer cover, electrical panels, helmet, grating, printed circuit board, Fenders, air conditioner panels, refrigerator parts, pressure tank, pipe and tubing, satellite dish antennae

2.7 Serbuk Limbah Karet Ban

2.7.1 Sejarah Karet

Karet telah dikenal di Eropa sejak penemuan Amerika Selatan. Orang Eropa pertama yang menyebut getah elastis atau karet alam adalah Pitro Martire d'Anghiera (1457-1526) yang menyebutkan sebuah permainan suku Aztec menggunakan bola yang terbuat dari getah suatu ramuan yang dapat memantul diatas tanah perlahan kemudian memantul kembali ke udara pada publikasi De Orbe Novo tahun 1513. Pada referensi lain menyebutkan kinerja dari Antonio de Herrera, seorang sejarawan dari Spanyol (1556-1598) yang menyatakan bagaimana Colombus dalam perjalanan keduanya mengelilingi dunia (1493-1496) melihat bola yang terbuat dari getah pohon yang digunakan oleh suku Indian di Haiti. Kemudian pada akhir abad ke-18 sifat dari karet yang didapatkan dari getah pohon telah dikenal hingga ke Eropa, namun progres pengembangan terbesar dari karet



dimulai pada awal abad ke-19. Charles Macintosh (1766-1843) menemukan tar naphtha batubara sebagai pelarut yang efektif dan murah untuk karet. Penemuan ini membuat berkembangnya industri dari jubah anti-air dengan tekstur dua layer untuk selanjutnya disebut dengan jas hujan. Kemudian pada 1839 Charles Goodyear menemukan proses pengolahan karet dengan mengombinasikan proses satu arah dengan sulfur yang kemudian disebut dengan vulkanisasi. Penemuan vulkanisasi pada 1850 ini membuat pengolahan produk karet dalam berbagai bidang menjadi mungkin (Rehan Ahmed dkk, 1996)

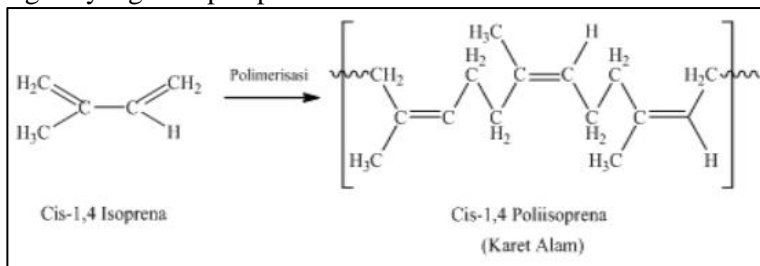
2.7.2 Struktur Karet Alam

Karet merupakan polimer alam terpenting dan dipakai secara luas dilihat dari sudut industri. Karet atau elastomer merupakan polimer yang memiliki daya pegas atau kemampuan meregang dan kembali ke keadaan semula dengan cepat dan sebagian besar memiliki struktur jaringan (Stevens, 2001). Karet alam adalah material polimer yang di dapat dari tanaman *Hevea Brasiliensis* yang merupakan tanaman daerah tropis dan tumbuhan optimal di dataran rendah (Ariyantoro, 2006). Lateks adalah suatu koloid dari partikel karet dalam air. Lateks *Hevea Brasiliensis* merupakan sitoplasma dari sel-sel pembuluh lateks yang mengandung partikel karet dan non karet yang tersuspensi dalam medium cair yang mengandung banyak bahan-bahan terlarut ion-ion anorganik dan ion-ion logam yang masuk ke dalam lateks saat lateks disadap. Lateks yang terkumpul digumpalkan dengan asam format (Hani, 2009). Karet alam mempunyai sifat-sifat yang dapat memberikan keuntungan dan kemudahan dalam proses pengerjaan dan pemakaiannya, baik dalam bentuk kompon maupun vulkanisat. Vulkanisat karet alam mempunyai kepegasan pantul yang baik sehingga panas yang dihasilkan rendah. Karet alam memiliki tegangan putus yang tinggi, ketahanan sobek dan kikisnya juga baik sekali, tetapi karet alam memiliki beberapa kekurangan yaitu kurang tahan terhadap



panas, tidak tahan terhadap ozon dan cahaya matahari (Nuyah, 2009).

Karet alam tidak murni poliisoprena seperti pada gambar 2.5, mengandung sekitar 95% poliisoprena dan 5% bagian non karet seperti lemak, glikolipid, fosfolipid, protein, senyawa – senyawa anorganik dan lain-lain, mempunyai berat molekul 200.000-500.000 dengan dua ikatan rangkap yang biasanya digunakan dalam reaksi kimia (Simpson, 2002). Bahan-bahan selain karet yang terdapat di dalam lateks, seperti lipid dapat berperan sebagai antioksidan. Sedangkan protein, selain berfungsi sebagai penstabil sistem koloid lateks juga berperan sebagai bahan yang mempercepat proses vulkanisasi pada pembuatan barang jadi karet. Protein dan lipid yang ada di dalam lateks dapat membentuk senyawa fosfolipoprotein, berupa membran bermuatan negatif yang melapisi partikel karet.



Gambar 2.5 Reaksi polimerisasi Cis-1,4 Isoprena menjadi Cis-1,4 Isopropena (Simpson, 2002)

2.7.3 Ban

Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetis dan baja yang sangat kuat yang menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan pergeseran yang tinggi (Bujang B.K.Huat, 2004). Ban terdiri dari tiga komponen utama yaitu karet, baja, dan serat. Untuk menggiling ban menjadi serbuk karet dilakukan dengan proses Ambient atau Kriogenik grinding. Karet memberikan kontribusi



terbesar bahan ban (lebih kurang 60% berat). Ban adalah material komposit, biasanya dari karet alam / karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang seperti pada sabuk tapak, sidewall, carcassply, dan innerliner.

Ada perbedaan jumlah karet stirena butadiena yang digunakan pada ban truk, dimana jumlah karet stirena butadiena lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan karet styrene butadiene pada carcassply, dasar tapak (Carl Thodesen,2009). Sebuah ban mengandung 30 jenis karet sintesis, delapan jenis karet alam ,delapan jenis karbon hitam, tali baja , polyester ,nilon ,manik-manik baja, silika dan 40 jenis bahan kimia, minyak dan pigmen (Exposure Riserch,2009).

Tabel 2.7 Tabel bahan-bahan dalam ban (Exposure Research, 2009)

No	Nama Bahan	No	Nama Bahan
1	Acetone	15	Pigments
2	Nickel	16	Manganese
3	Aniline flame retardants	17	Polyester
4	Phenol	18	Chloroethane isobutyl
5	Barium	19	Methyl
6	Polycyclic aromatic Hydrocarbons	20	Cobalt trichloroethylene
7	Benzothiazole	21	Arsenic
8	Methyl ethyl ketone	22	Isoprene
9	Styrene-butadene	23	Benzene
10	Chromium toluene	24	Lead
11	Copper	25	Cadmium
12	Halogenated	26	Mercury
13	Nylon	27	Rayon
14	Latex	28	Naphthalene

2.7.4 Serbuk Ban Bekas

Serbuk karet atau yang sering disebut dengan “tire crumb” atau “crumb rubber” adalah produk yang ramah lingkungan karena diperoleh dari ban bekas, dan tidak larut dalam



tanah ataupun air tanah. Selain mengurangi jumlah limbah karet yang terbuang ke lingkungan, pemakaian kembali limbah produk karet tertentu, dapat menekan harga karet sebagai salah satu komponen penting penentu harga produk jadi yang dihasilkan. Aplikasi umum dari serbuk ban bekas adalah untuk; karpet karet, karet kompon, sol sepatu karet, konstruksi bangunan, campuran aspal untuk mengurangi keretakan dan menambah daya tahan pada jalan raya / jalan tol, lapangan olah raga, arena pacuan kuda, lapangan atletik serta tempat-tempat rekreasi, seperti penutup tanah pada peralatan tempat bermain (Exposure Research,2009).

Serbuk –serbuk ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintetis, diperkuat dengan karbon black yang menyerap minyak encer dari semen aspal selama reaksi yang dapat mengalami pengembangan (Swelling) dan pelunakan (Softening) dari serbuk ban bekas. Hal ini meningkatkan kekentalan binder yang dimodifikasi (Steven Manolis, 2001).



Gambar 2.6 Serbuk ban bekas (Heitzamn, 1992)

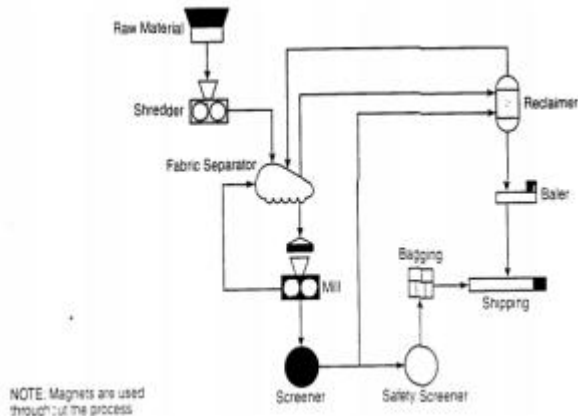
Serbuk ban bekas berbentuk butiran-butiran kecil dari ban bekas yang dibuat dalam ukuran tertentu yang digunakan untuk modifikasi bahan aspal paving atau sebagai filler . Sifat-sifat serbuk ban bekas yang dapat mempengaruhi interaksi dalam proses pembuatan yakni ukuran partikel ,spesifikasi area



permukaan, dan komposisi kimia (Heitzamn, 1992). Serbuk ban bekas diperoleh dari ban yang melalui beberapa proses yaitu :

a. Sistem *Ambient Grinding*

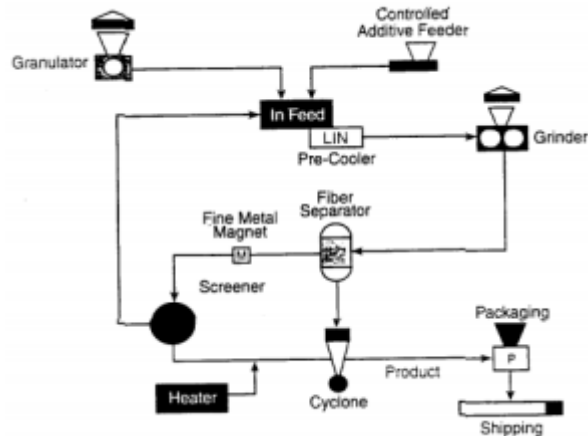
Ambient grinding, adalah suatu metode proses dimana ban bekas tersebut diparut, digiling yang diproses pada temperatur ruang.



Gambar 2.7 Proses *Ambient Grinding* (Heitzamn, 1992)

b. Sistem *Cryogenic Grinding*

Cryogenic grinding, adalah proses yang menggunakan nitrogen cair untuk membekukan ban bekas sehingga menjadi rapuh dan kemudian dengan menggunakan sebuah hammer mill untuk menghancurkan karet yang beku tersebut menjadi partikel-partikel yang halus.



Gambar 2.8 Proses *Cryogenic Grinding* (Heitzamn, 1992)

c. Sistem *Wet-Ambient Grinding*

Wet-Ambient grinding, atau proses melarutkan dapat digunakan untuk menghasilkan ukuran partikel karet antara 200-500 mesh (Cal Recovery, 2004).

Pada ketiga proses, baja dan nilon-nilon halus yang terdapat pada ban dapat dihilangkan dengan magnet dan alat peniup. Proses ambient menghasilkan bentuk partikel yang tidak teratur dengan luas permukaan yang relatif besar menghasilkan reaksi antara semen aspal lebih cepat, sementara proses cryogenic menghasilkan suatu permukaan yang rata yang dapat mengurangi kecepatan reaksi dengan aspal semen. Pada proses cryogenic memberikan elastisitas yang lebih kecil dibandingkan dengan proses ambient. (Roberts dkk., 1989; Caltrans, 2003).



Serbuk ban bekas diukur dalam mesh atau inci dan umumnya karet ukurannya 3/8 inci atau lebih kecil. Ukuran serbuk dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok, yaitu:

1. Besar atau kasar (3/8 dan 1/4 inci).
2. Sedang (10–30 mesh atau 0.079 –0.039)
3. Baik (40–80 mesh atau 0.016 –0.007)
4. Sangat baik (100–200 mesh atau 0.006 – 0.003).

Ukuran partikel dan distribusi ukuran tergantung dari kebutuhan serbuk ban bekas dan penggunaannya. Dari data penjualan pada industri serbuk ban bekas, pemakaiannya 14% untuk ukuran kasar, 52% untuk ukuran sedang, 22 % untuk ukuran halus dan 12% untuk ukuran sangat halus. Dari hasil penelitian dan literatur menyatakan bahwa 1/4-20 mesh sangat baik digunakan untuk aplikasi dalam bidang olah raga, keset kaki, tanah berumput, bahan untuk tempat bermain dan hasil campuran (molded). Untuk ukuran baik (40-80 mesh) sangat berpotensi untuk menghasilkan komposit yang baik dengan proses pencetakan (Nongnard Sunthonpagasit, Michael R. Duffey, 2003).

2.7.5 Pemoangan Ban

Pertama-tama ban bekas dipotong-potong kecil dengan ukuran 2x2 inci atau 1x1 inci dalam bentuk cip. Kemudian suatu magnet pemisah dan sebuah alat pemisah serat digunakan untuk menghilangkan baja dan serat polyester. Selanjutnya karet bekas dipekecil ukurannya dengan menggunakan alat ambient ground mill atau dapat dijadikan menjadi partikel-partikel yang sangat baik dengan membekukan partikel dan dipotong.

Cara yang dapat digunakan untuk memperoleh karet dengan mesh yang baik adalah dengan mendinginkan ban bekas di dalam cairan nitrogen dibawah temperatur translasi glass dan menghaluskannya menjadi bubuk dalam suatu penggiling. Dengan cara cryogenic diperoleh serbuk ban bekas yang baik dengan ukuran 30-100 mesh (Cal Recovery, 2004).



2.8 Penelitian Terdahulu

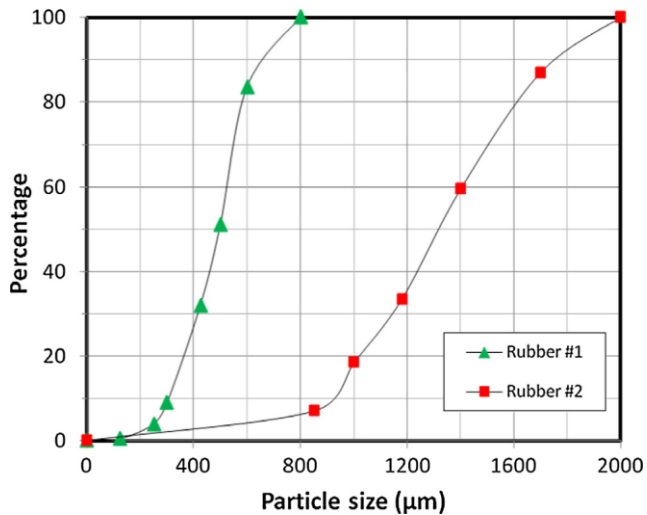
Dalam penelitian yang dilakukan Abu-Jdayil, Abdel-Hamid, dan Atif Hussain pada tahun 2016 dilakukan investigasi mengenai sifat mekanik dari komposit unsaturated polyester dengan material pengisi berupa serbuk karet dari ban bekas. Bahan pengisi yang digunakan pada penelitian tersebut terdiri dari 2 jenis serbuk karet yakni rubber 1 dan rubber 2. *Rubber 1* memiliki ukuran partikel yang halus dengan rata-rata ukuran partikel $<0,8$ mm sedangkan *Rubber 2* memiliki ukuran partikel yang agak kasar dengan ukuran partikel rata-rata berkisar dari 0,8-2 m. Selain itu, matriks yang digunakan didapat dari *supplier* Reichhold Inc., Dubai dengan merek dagang Polylite 721-800E, berupa *isophthalic Polyester* resin dengan kandungan stirena 44-64% dan viskositas 280-330mPas.



Gambar 2.9 Serbuk *Rubber 1* halus (Abu Jdayil, 2016)



Gambar 2.10 Serbuk *Rubber 2* kasar (Abu Jdayil, 2016)



Gambar 2.11 Distribusi ukuran partikel dari *rubber 1* dan *rubber 2* (Abu Jdayil, 2016)



2.9.2 Preparasi Komposit

Bahan pengisi dengan berbagai variasi komposisi (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40%) dicampur dengan unsaturated polyester. Lalu baha-bahan ditambahkan Metil etil keton peroksida sebagai inisiator untuk proses *curing*. Semua bahan lalu dicampur dan diaduk menggunakan *high viscosiy mixer* lalu hasil campuran dituangkan ke dalam wadah *mould stainless steel*. Terdapat 2 wadah mould yang dibuat yakni 1 untuk keperluan uji tarik dan satu lagi untuk keperluan uji kompresi.



(a)



(b)

Gambar 2.12 Sampel uji tarik (a) dan kompresi (b) (Abu Jdayil, 2016)

Spesimen uji tarik dan uji kompresi ini mengikuti aturan ASTM D638-14 dan ASTM D695-15 secara berturut-turut.



2.9.3 Pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

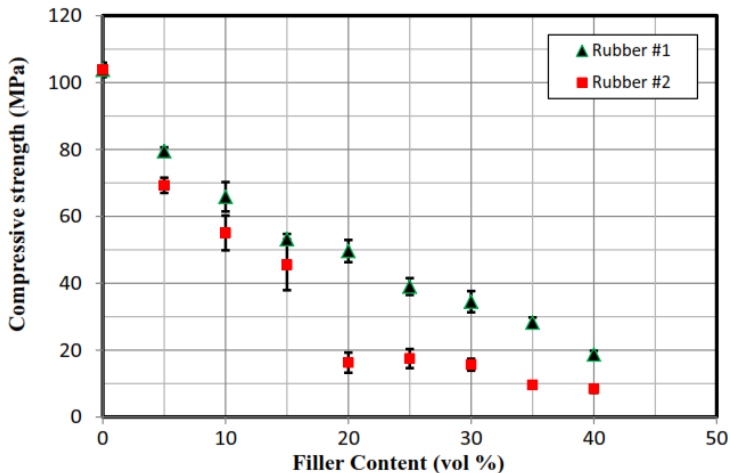
Karakteristik morfologi dari partikel karet bekas dan komposit yang telah dihasilkan diamati menggunakan *FEI Scanning microscope*, model Quanta 200 dengan sistem Inica EDX. Sampel sebelumnya diletakkan dalam wadah aluminium dan dilapisi dengan paladium-emas agar menjadi lapisan yang konduktif.

2.9.4 Hasil dan Pembahasan

2.9.4.1 Uji kompresi

Dalam uji kompresi spesimen diletakkan antara dua *platform* di mesin dan diberikan beban sepanjang 25 mm dalam laju regangan konstan yakni 10mm/menit. Efek dari ukuran partikel karet dan kandungannya terhadap kekuatan kompresi komposit dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 2.8 Pengaruh komposisi *filler* dan ukurannya terhadap kekuatan kompresi komposit (Abu Jdayil, 2016)



Dapat dilihat bahwa kekuatan kompresi dari kompresi menurun dengan bertambahnya komposisi karet. Secara umum, makin tinggi kandungan karet maka makin rendah kekuatan



kompresinya. Peningkatan ukuran serbuk karet juga beriringan dengan meningkatnya voids dalam struktur komposit dan akibatnya menurunkan kekuatan kompresi. Menurunnya kekuatan kompresi dengan penambahan karet juga berkaitan dengan lemahnya ikatan antar muka antara poliester dengan partikel karet ban.

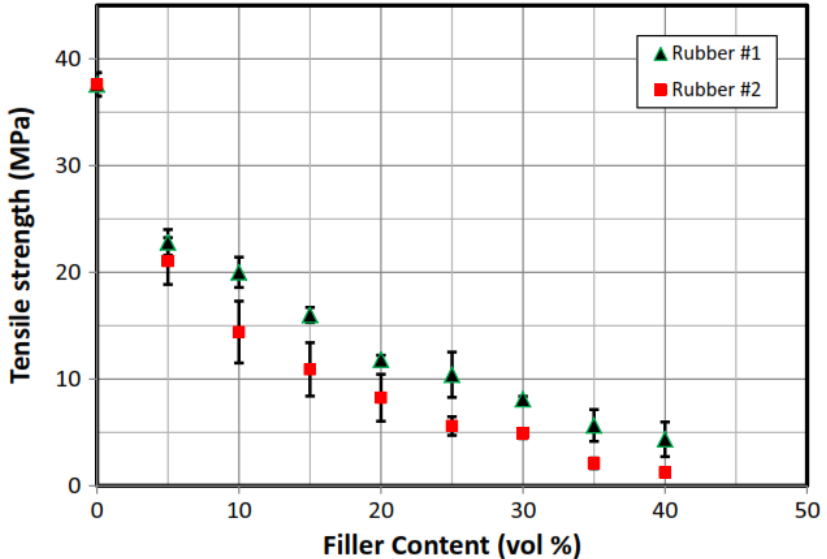
2.9.4.2 Pengujian Tarik

Tabel 2.7 Menunjukkan variasi kekuatan tarik dari komposit dengan berbagai macam komposisi *filler*. Dapat diketahui bahwa kekuatan tarik/ tegangan tarik dan modulus elastisitas dari unsaturated polyester memiliki nilai maksimum pada tegangan 37.6 Mpa, dan modulus elastisitas 1030 Mpa, mengingat pada titik tersebut kandungan karetnya paling rendah.

Nilai yang relatif tinggi pada persentase karet yang rendah dibandingkan dengan persentase karet pengisi yang tinggi dikarenakan *filler* memiliki dispersi yang lebih baik terhadap matriksnya, kurangnya void/porosity dan kuatnya ikatan antarmuka. Di lain hal, menurunnya kekuatan tarik pada persentase partikel karet yang lebih tinggi dikarenakan buruknya efisiensi transfer tegangan antara partikel karet dan matriks poliester yang disebabkan oleh lemahnya gaya adhesi pada antarmuka, kontak langsung dengan partikel dan kemungkinan hadirnya void/porosity.



Tabel 2.9 Kekuatan tarik komposit vs komposisi *filler* (Abu Jdayil, 2016)



Tabel 2.10 Kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari komposit (Abu Jdayil, 2016)

Tensile strength and modulus of elasticity of prepared composites.

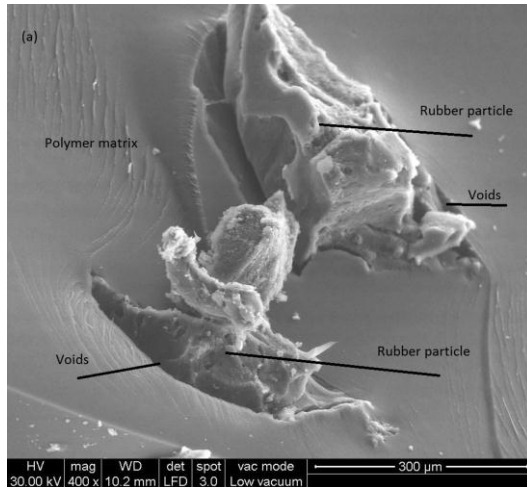
Filler content (vol%)	Ultimate tensile strength σ_u (MPa)		Modulus of elasticity E (MPa)	
	Rubber #1	Rubber #2	Rubber #1	Rubber #2
0	37.6	37.6	1030	1030
5	22.8	8.3	833.6	762.2
10	20	7.3	730.2	800.7
15	16	5.9	593.1	496.6
20	11.8	7.6	461.8	384.5
25	10.4	3.6	339.3	306.0
30	8.1	5.35	301.0	271.7
35	5.65	1.75	203.8	93.4
40	4.35	1.25	157.6	63.8



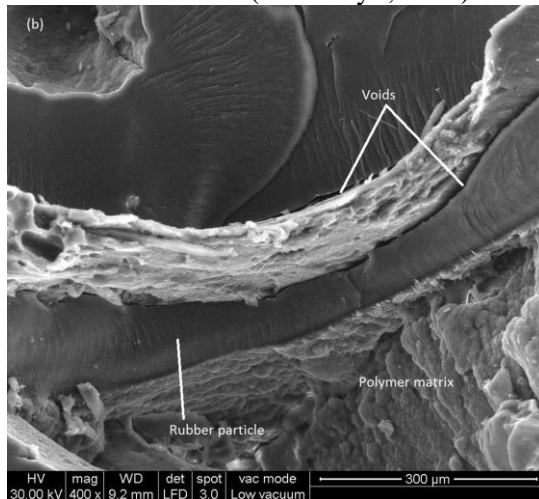
Dari gambar juga dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit ukuran partikel karet, maka semakin tinggi kekuatan tarik kompositnya. 2 Parameter utamanya adalah meningkatnya dispersi dan interaksi partikel karet dengan matriks poliester.

2.9.4.3 Matriks karet-poliester

Tampak jelas bahwa seiring dengan meningkatnya konsentrasi komposit, maka secara keseluruhan kekuatan komposit menjadi berkurang. Pengamatan ini diperkuat oleh beberapa laporan lainnya. Perilaku ini mungkin saja terjadi karena ketidakcocokan antara partikel karet yang hidrofobik dengan poliester yang hidrofilik sehingga menghasilkan ikatan adhesi antarmuka yang lemah. Morfologi dari komposit dengan filler 10% pada rubber 1 ditunjukkan pada gambar 2. a. Secara umum, partikel karetnya cukup terdispersi dengan baik dalam matriks karena adanya interaksi yang baik antara partikel pengisi dengan matriks. Hal ini terlihat pada gambar, bahwa hanya ada sedikit ruang yang tidak menempel antara filler dan matriks sehingga membuat pembentukan ruang kosong/ void menjadi sempit. Hal ini yang akhirnya berkontribusi pada pengurangan kekuatan komposit. Ruang kosong/ void ini akan terlihat lebih jelas pada kasus komposit rubber 2, seperti terlihat pada gambar 2. b, dimana morfologi dari karet 40% rubber 2. Terlihat jelas bahwa derajat ketidaksambungan antara matriks dan filler jauh lebih besar dibandingkan dengan komposit rubber 1. Ini adalah alasan terbentuknya formasi void yang besar dalam komposit rubber 2. Ketidaksambungan atau *detachment* antara partikel dan matriks yang menyebabkan lemahnya ikatan antar muka.



Gambar 2.13. Gambar struktur mikro dari poliester-karet dengan 10% rubber 1 (Abu Jdayil, 2016)



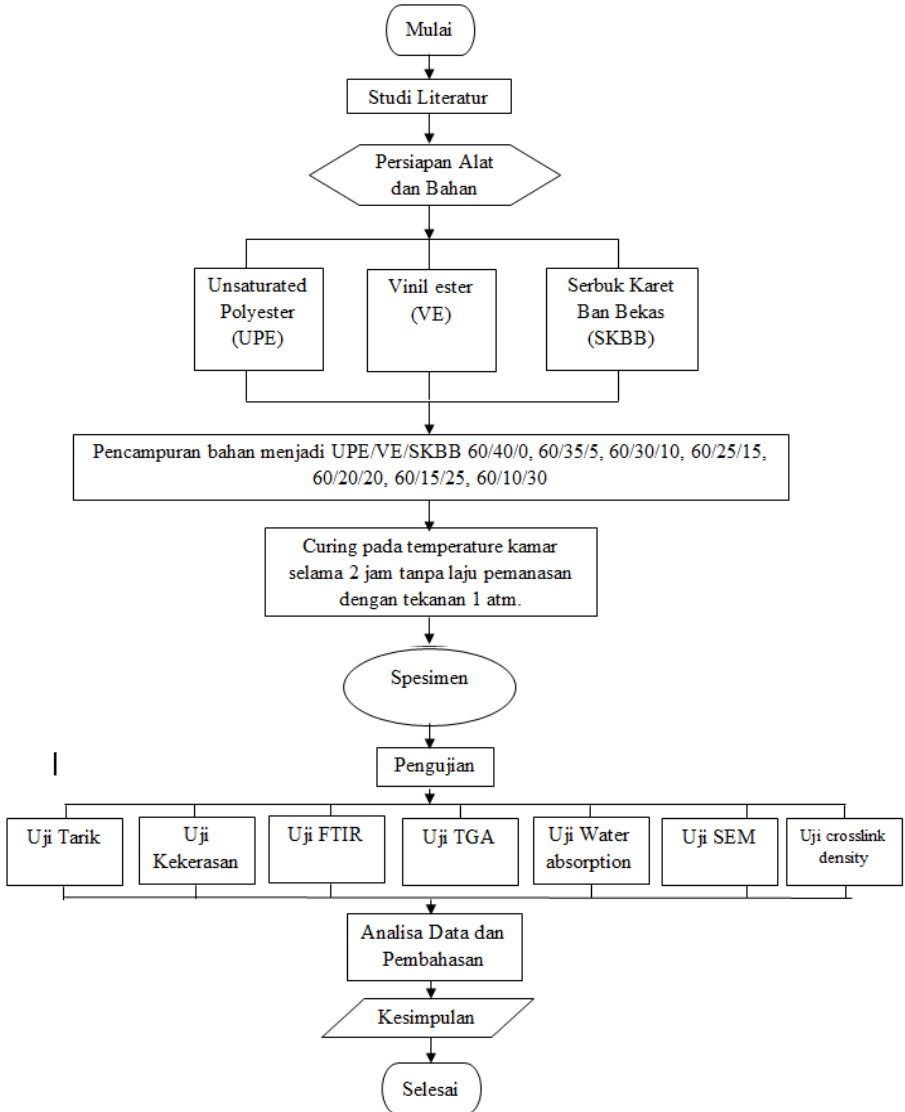
Gambar 2.14. Gambar struktur mikro karet-poliester dengan 40% rubber 2 (Abu Jdayil, 2016)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari dan menganalisis pemanfaatan limbah karet untuk dijadikan komposit polimer. Diagram alir Penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1 dibawah. Kegiatan penelitian terdiri dari studi literatur mengenai komposit daur yang dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur karet ban bekas
2. Preparasi spesimen untuk pengujian sesuai aplikasinya
3. Melakukan pengujian dan karakterisasi material
4. Menganalisa data hasil pengujian dan karakterisasi mengenai perilaku materialnya
5. Penarikan kesimpulan mengenai pengaruh komposisi material dan data yang diperoleh dan komposisi optimumnya.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Bahan Penelitian

Dalam suatu penelitian diperlukan bahan untuk menunjang keberhasilan suatu penelitian tersebut.

3.2.1 Material

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh gambar dibawah ini :

1. Resin Vinil Ester

Vinil Ester salah satu bahan utama untuk matriks pada komposit ini, yaitu berupa cairan kental berwarna kuning. Vinil ester diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe Ripoxy R-802.

2. Resin Poliester

Poliester merupakan matriks utama pembentuk komposit ini. Poliester diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan merk dagang YUKALAC® FW-21-EXL berjenis isophthalic resin.

3. Katalis MEKPO

Katalis peroksida merupakan bahan katalis untuk campuran menggunakan vinil ester yang berbentuk cairan berwarna bening katalis ini diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan merk jual MEKPO.

4. Akselerator Cobalt Napthalate

Akselerator Cobalt Napthalate merupakan bahan yang berfungsi untuk mempercepat reaksi katalis MEKPO dengan resin vinil ester yang berbentuk cairan berwarna ungu. Akselerator Cobalt Napthalate dieperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.

5. Serbuk Karet Ban Bekas

Crumb rubber atau serbuk limbah karet merupakan bahan yang akan digunakan sebagai pengisi dalam matriks vinil



ester yang berbentuk serbuk dan berwarna hitam. Crumb rubber ini diperoleh dari limbah ban bermerk Dunlop.

3.2.2. Preparasi

Preparasi spesimen dilakukan dengan melakukan pengukuran massa campuran bahan komposit menjadi UPE/VE/SKKB 60/40/0, 60/35/5, 60/30/10, 60/25/15, 60/20/20, 60/15/25, 60/10/30. Selain itu dilakukan pula pengadukan bahan menggunakan mixer agar bahan menjadi homogen.

3.3 Pengujian

1. Pengujian TGA

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit biobased. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur tinggi. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel di atas meja putar yang ada di dalam mesin. Selanjutnya dilakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer di mana berat maksimal 20 mg. Kondisi dalam mesin dialiri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu. Program pengoperasian mesin berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan dilakukan dengan melalui pemasukan data ke komputer. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel.



Gambar 3.2 Mesin TGA

2. Pengujian Kekerasan

Pengujian ini digunakan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indenter seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D.

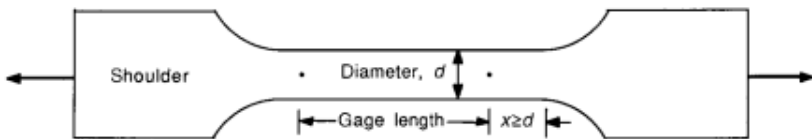


Gambar 3.3 Alat Durometer Shore D Hardness Test



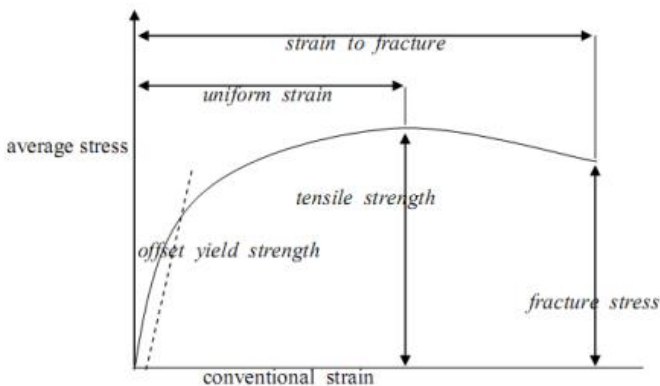
3. Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik yang akan dilakukan pada praktikum ini sesuai dengan standar American Society for Testing Materials (ASTM). Pengujian tarik ini mengikuti standar ASTM D638-14 dengan panjang total 100mm, *gauge length* 30mm, dan ketebalan 5mm. Spesimen uji tarik berbentuk plat dengan ukuran adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji Tarik.

Hasil pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian akan diubah menjadi kurva engineering stress-strain, seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.5 Kurva Tegangan Regangan

Untuk mendapatkan kurva engineering stress-strain dari kurva antara ΔF dan Δl adaah dengan persamaan:



$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.1}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.2}$$

- σ = Engineering Stress (N/mm²)
- F = Beban yang diberikan (N)
- A = Luas penampang (mm²)
- ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)
- ΔL = Perubahan panjang (mm)
- L = Panjang setelah pembebanan (mm)

4. Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energy yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul.



5. Pengujian Water Absorption

Pengujian Water absorption akan dilakukan di Laboratorium Inovasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS menggunakan instrumen oven dan timbangan. Pengujian ini dilakukan dengan mengikuti standar dari ASTM D570. Prinsip dasar dalam pengujian ini adalah, dengan melakukan pencelupan spesimen ke dalam bak air selama 24 jam. Kemudian melakukan penimbangan untuk mengetahui berapa selisih pertambahan berat dari komposit sebelum dan sesudah dilakukan perendaman. Sebelum direndam, komposit juga harus dikeringkan dalam oven dengan temperatur 50°C.

6. Pengujian Densitas

Analisa densitas atau massa jenis dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari komposit UPR/VE/SKKB. Analisa densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D-792 dengan media air. Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa spesimen solid saat di udara terbuka lalu dimasukkan ke dalam cairan yang dalam pengujian kali ini berupa air, massa yang didapat dari pencelupan kemudian dijadikan acuan untuk perhitungan densitas.

3.4 Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Wadah Aluminium
Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.
2. Timbangan Digital
Timbangan digital pocket digunakan untuk menimbang massa bahan campuran.
3. Sendok
Sendok digunakan untuk mengambil material untuk proses pencampuran.



4. Cetakan Kayu
Cetakan kayu digunakan untuk membuat spesimen uji tarik.
5. Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA)
TGA digunakan untuk mengukur stabilitas thermal dari komposit ini.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi material pengisi berupa *crumb rubber* dan komposisi dari matriks komposit. Variabel komposisi yang akan dilakukan dengan komposisi UPE/VE/Cr 100/0/0, 40/0/60, 40/20/40, 40/40/20, 40/60/0, 0/100/0.

3.6 Prosedur Penelitian

Beberapa tahap penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Mengukur massa campuran matriks polimer dengan perbandingan komposisi massa UPE/VE/Cr sesuai tabel dibawah ini, khusus untuk massa katalis MEKPO dan akselerator Cobalt Napthenate dibuat konstan sebesar 4% : 1% berutut-tutut.

No Spesimen	UPE	VE	Crumb rubber
1	60	40	0
2	60	35	5
3	60	30	10
4	60	25	15
5	60	20	20
6	60	15	25
7	60	10	30



3. Mencampurkan matriks poliester dan vinil ester dengan variasi komposisi massa pengisi kemudian diaduk menggunakan manual stirring minimal selama 5 menit hingga homogen pada temperatur kamar.
4. Menuangkan hasil campuran ke dalam cetakan kayu untuk dijadikan spesimen sesuai pengujian.
5. Spesimen di curing di ruangan pada temperatur kamar selama 6 jam, tanpa ada pemberian laju pemanasan
6. Melakukan pengujian mekanik, biodegradasi, dan temperatur terhadap spesimen.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan rekayasa komposit unsaturated poliester resin (UPR) , vinil ester resin (VE) dan ditambah dengan material pengisi serbuk karet ban bekas (SKBB). Besarnya jumlah komposisi dari setiap bahan kemudian dijadikan variabel dalam pembuatan komposit ini untuk kemudian ditinjau pengaruhnya. Penelitian ini menghasilkan campuran berupa komposit dengan komposisi UPR/VE/SKBB (60/40/0), UPR/VE/SKBB (60/35/5), UPR/VE/SKBB (60/30/10), UPR/VE/SKBB (60/25/15), UPR/VE/SKBB (60/20/20), UPR/VE/SKBB (60/15/25), UPR/VE/SKBB (60/10/30).. Komposit yang dihasilkan kemudian diuji dan dianalisa untuk diketahui sifat mekanik dan sifat ketahanan thermalnya.

4.1 Distribusi Ukuran Partikel

Homogenitas ukuran partikel memegang peranan yang sangat penting dalam pembuatan komposit. Semakin homogen ukuran partikel yang digunakan dalam pembuatan komposit maka semakin mudah untuk melakukan pengamatan terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi sifat komposit tersebut.

Analisa distribusi ukuran partikel dalam penelitian ini menggunakan metode sesuai dengan ASTM C 136. Namun dikarenakan beberapa ayakan dengan diameter bukaan yang disyaratkan dalam panduan ASTM tidak tersedia maka digunakan ayakan dengan ukuran diameter yang paling mendekati dan tersedia di laboratorium fisika material. Proses pengayakan menggunakan jumlah massa sampel sebanyak 500 gram dalam satu kali proses pengayakan, dengan lama waktu ayak 10 menit.

Pada tabel 4.1 terdapat tabel distribusi partikel sesuai dengan standar ASTM C 136 sedangkan pada tabel 4.2 terdapat tabel distribusi partikel yang telah dimodifikasi mendekati standar ASTM.



Tabel 4.1 Distribusi Partikel Agregat Halus ASTM C 136

No.	Sieve Number (ASTM C 136)	Sieve Opening (mm)	Material Passing (%)	Cumulative Passing (g)
1	4	4,76	99,99	499,95
2	8	2,38	84,1	420,5
3	16	1,19	70,11	350,55
4	30	0,595	48,54	242,7
5	50	0,297	13,52	67,6
6	100	0,149	2,55	12,75
7	200	0,074	1,32	6,6

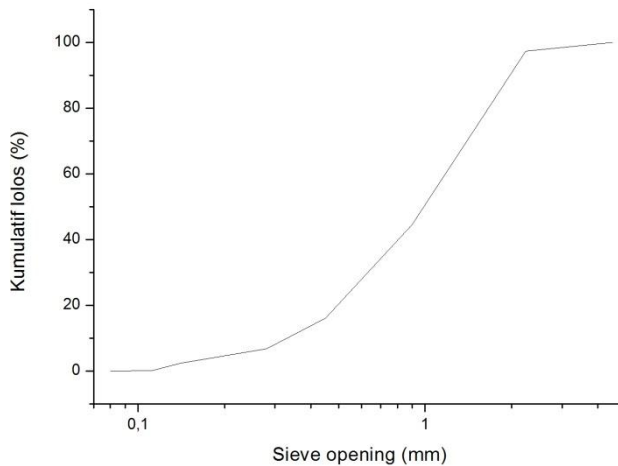
Tabel 4.2 Distribusi Partikel Serbuk Karet Ban Bekas

No.	Sieve Number (ISO 565 - 3310)	Sieve Opening (mm)	Material Passing (%)	Cumulative Passing (g)
1	4,5	4,5	0,9	500
2	2,24	2,24	0,448	487
3	900	0,9	0,18	223
4	450	0,45	0,09	81
5	280	0,28	0,056	34
6	140	0,14	0,028	12
7	112	0,112	0,0224	1
8	80	0,08	0,016	0

Gambar 4.1 memperlihatkan kurva distribusi ukuran partikel dari material serbuk karet yang dibeli. Apabila mengacu pada standar yang ditetapkan oleh AASHTO T27 (*American*



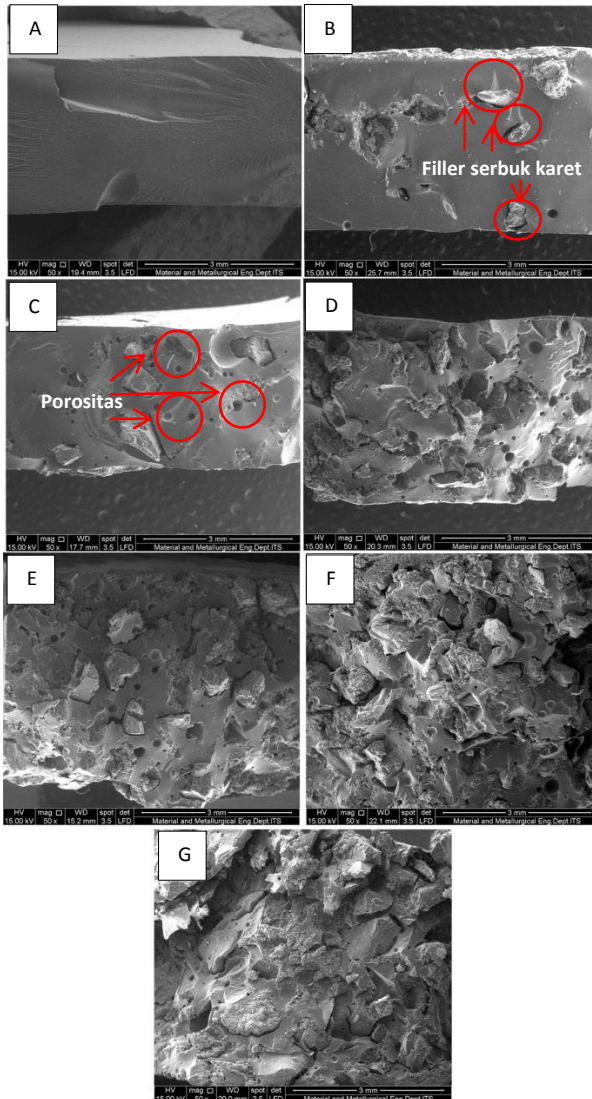
Association of State Highway and Transportation Officials) tentang *single and double course chip seal aggregate gradation* maka distribusi partikel serbuk karet yang digunakan telah memenuhi standar *design* untuk grade D. Namun dalam penelitian kali ini, ukuran partikel serbuk karet yang digunakan dibuat lebih homogen yakni pada rentang 450 micron sampai 900 micron.



Gambar 4.1 Kurva distribusi ukuran partikel serbuk karet

4.2 Morfologi dan Struktur Mikro

Melalui fotomikrograph SEM juga bisa didapatkan informasi persebaran partikel *filler*, ukuran *filler*, bentuk *filler*, porositas. Pengamatan morfologi dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan perbesaran sebesar 50x dan 200x. Sampel yang digunakan pada pengambilan gambar SEM adalah penampang melintang hasil uji tarik material komposit UPR/VE/SKKB.

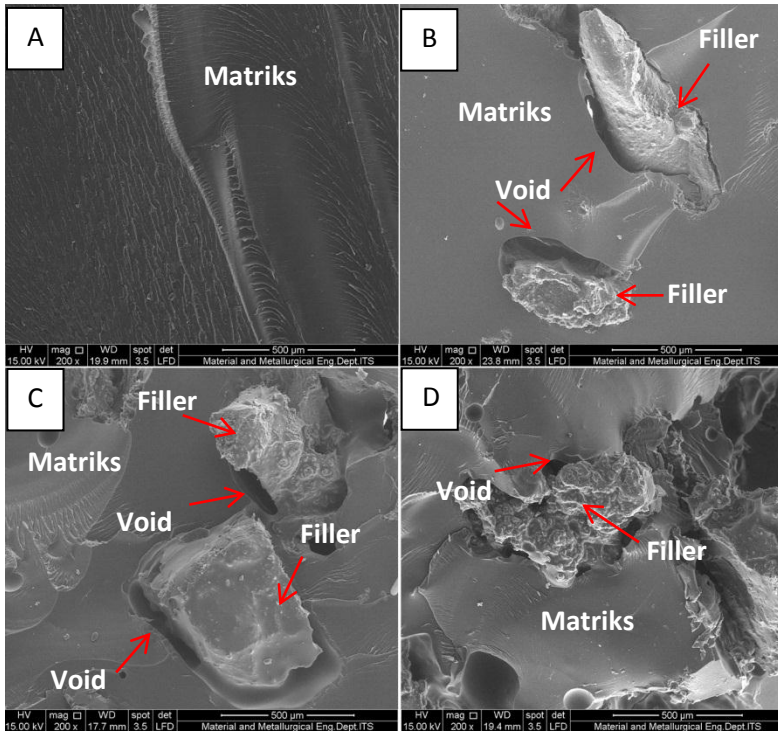


Gambar 4.2 Mikrografi SEM material komposit UPR/VE/SKKB dengan komposisi SKKB : (A) 0%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15%, (E) 20%, (F) 25%, dan (G) 30% dengan perbesaran 50x



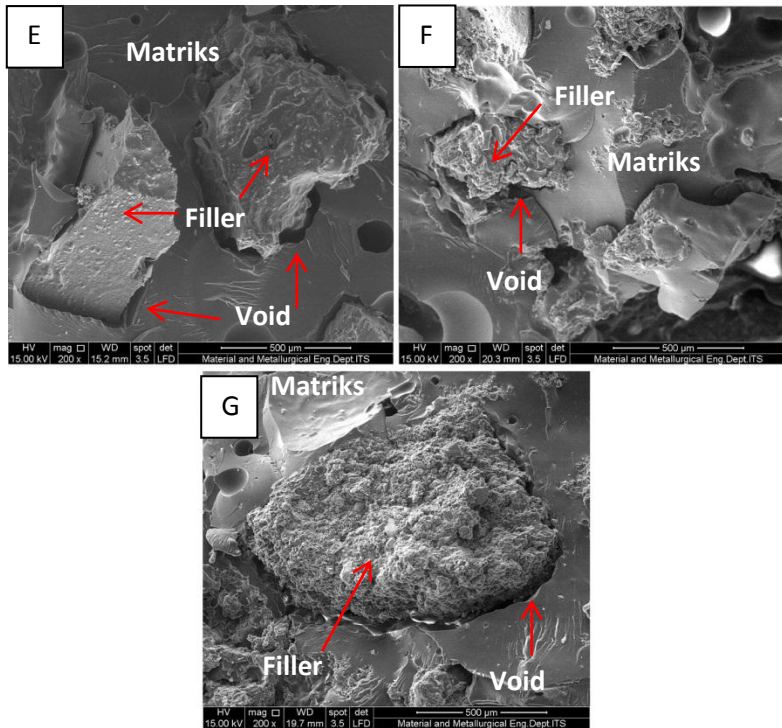
Gambar 4.2 menunjukkan hasil mikrografi SEM pada dengan perbesaran 50x. Pada gambar 4.2 (a) tidak terdapat *filler* serbuk karet. Permukaan terlihat rata dan 2 resin tercampur dengan cukup baik sehingga tampak membentuk 1 fasa. Pada komposisi ini juga terlihat patahan getas, dimana *crack* menyebar secara sangat cepat dan penjalaran *crack* terjadi pada rentang penambahan *stress* yang sempit (Callister, 2007).

Sementara itu pada gambar 4.2 (b)-(g) terdapat komposit dengan beragam komposisi *filler*. Pada gambar 4.2 (b) persebaran *filler* hanya terdapat pada bagian atas komposit dan tidak terdistribusi merata, hal ini mengindikasikan bahwa densitas *filler* lebih rendah dibandingkan matriks. Sedangkan pada gambar 4.2 (c)-(g) persebaran *filler* cenderung lebih acak dan membentuk patahan ulet. Patahan *moderately ductile* ditandai dengan permukaan yang cenderung sedikit berserabut, terbentuknya permukaan serabut ini adalah indikasi dari terjadinya deformasi plastis (Callister, 2007). Selain itu pada dari gambar 4.2 bersamaan dengan adanya *filler* muncul pula porositas. Porositas ditandai pada gambar berupa lubang hitam di permukaan. Dari gambar diketahui bahwa dengan meningkatnya jumlah *filler* semakin banyak pula porositas yang terbentuk. Salah satu penyebab munculnya porositas adalah karena metode dalam pembuatan komposit yang kurang baik seperti pengadukan yang terlalu cepat sehingga memungkinkan masuknya udara luar dan menjebakannya di dalam komposit, porositas juga dapat disebabkan karena proses penuangan yang terlalu jauh dari wadah sehingga terdapat lebih banyak area komposit yang terkena kontak dengan udara. Porositas ini pada akhirnya akan menurunkan kekuatan mekanik dari komposit itu sendiri.



Gambar 4.3 Mikrografi SEM material komposit UPR/VE/SKKB dengan komposisi SKKB : (A) 0%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15% dengan perbesaran 200x

Pada gambar 4.3 terdapat mikrografi SEM material komposit dengan variasi komposisi *filler*. Pada gambar 4.3 (b), (c), (d), (e), (f), dan (g) terdapat *filler* berupa serbuk karet dengan bentuk tidak beraturan menyerupai kotak, dan oval. Pada gambar juga terlihat adanya *gap* antara serbuk karet dengan fasa matriks berupa void. Gap ini menunjukkan lemahnya interaksi *filler* dan matriks juga lemahnya kekuatan ikatan *interface*.

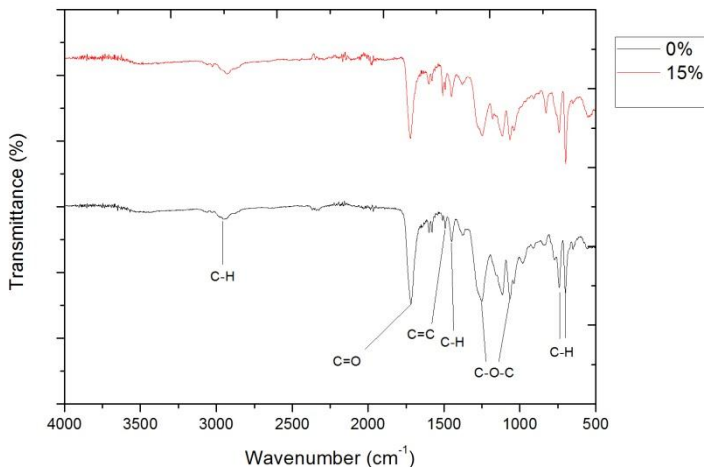


Gambar 4.3 Mikrografi SEM material komposit UPR/VE/SKKB dengan komposisi SKKB : (E) 20%, (F) 25%, (G) 30% dengan perbesaran 200x



4.3 Struktur Ikatan dan Gugus Fungsi

Analisis FTIR bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk dari material komposit UPR/VE/SKBB. Spektrum FTIR diperoleh dari permukaan spesimen UPR/VE/SKBB dengan komposisi serbuk karet sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum gugus fungsi serta ikatan kimia yang muncul dari tiap komposisi sampel berbeda.

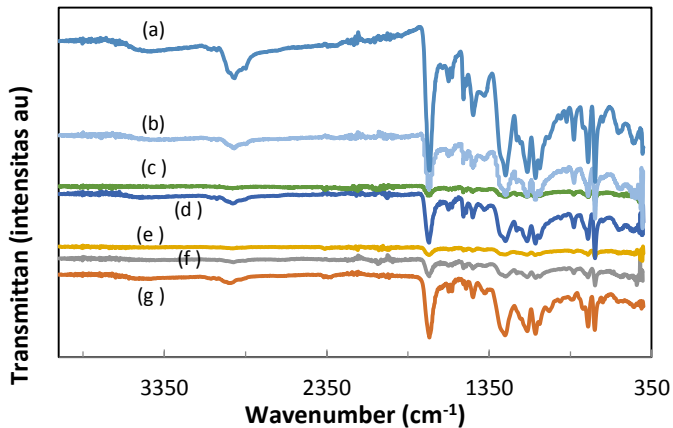


Gambar 4.4 Perbandingan hasil FTIR komposit UPR/VE/SKBB dengan *filler* 15% dan tanpa *filler*

Gambar 4.4 menunjukkan daerah puncak serapan sinar inframerah dari komposit UPR/VE/SKBB. Daerah dengan garis spektrum berwarna hitam menunjukkan material polimer *blend* unsaturated poliester dengan vinil ester. Dari hasil FTIR terdeteksi puncak 2929 cm^{-1} sebagai ikatan C-H *stretching* yang berasal dari gugus fungsi alkana CH_2 . Kemudian pada



daerah serapan 1719 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C=O *stretching* karbonil pada ester. Kemudian pada puncak 1252 cm^{-1} dan 1116 cm^{-1} dapat diidentifikasi sebagai daerah serapan ikatan C-O-C *stretching*. Lalu terdapat ikatan C-H deformasi yang berasal dari unsaturated poliester pada daerah 740 cm^{-1} dan dengan puncak keduanya di 697 cm^{-1} . Ikatan ini tergolong ke dalam tipe cincin benzena dengan 5 atom H berdampingan. Lalu pada daerah serapan 1507 cm^{-1} terdapat ikatan C=C cincin aromatik serta dikuatkan dengan adanya gugus benzena para disubstitusi pada daerah serapan 827 cm^{-1} .



Gambar 4.5 Spektrum FTIR komposit UPR/VE/SKBB dengan variasi filler (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%, (e) 20%, (f) 25%, (g) 30%

Dari gambar 4.5 terlihat jika tidak ada gugus fungsi baru yang terbentuk pada material seiring dengan bertambahnya material pengisi serbuk karet. Hal ini menunjukkan jika tidak ada gugus



fungsi dengan ikatan kovalen baru yang terbentuk. Matriks yang terbentuk membentuk *polymer blend*. Hal ini terlihat pada gambar yang tidak menunjukkan adanya pergeseran posisi pada FTIR, menandakan tidak adanya interaksi kimia dan dapat dikatakan sebagai campuran fisik (*physical blend*) (Kaniappan, 2011).

4.4 Kekuatan Kompresi

Pengujian kompresi dilakukan untuk mengetahui kekuatan kompresi dari komposit UPR/VE/SKKB. Dengan mengetahui kekuatan kompresi dari material komposit, maka dapat dijadikan pertimbangan komposit yang dibuat untuk dijadikan bahan bangunan seperti ubin, paving block, dinding, beton, dan lain-lain.

Uji kompresi dilakukan di Laboratorium Beton dan Material Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dari hasil uji kompresi yang dilakukan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Uji Kompresi

No	Persentase Filler (%)	Kekuatan Tekan (Mpa)	Elongasi (%)
1	0%	68,67	12,59
2	5%	22,99	14,58
3	10%	32,87	15,21
4	15%	11,6	5,69
5	20%	0,96	26,36
6	25%	4,79	33,63
7	30%	2,3	Tidak Patah

Berdasarkan tabel tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan material pengisi serbuk karet cenderung menurunkan kekuatan kompresi komposit UPR/VE/SKKB. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal seperti



lemahnya kekuatan ikatan antar *interface* matriks dengan *filler*. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian FTIR yang menunjukkan tidak adanya ikatan kimia baru yang terbentuk pada komposit, melainkan hanya terjadi ikatan mekanik. Hal lain yang menyebabkan rendahnya kekuatan kompresi adalah meningkatnya jumlah *void* seiring dengan bertambahnya komposisi serbuk karet. Keberadaan *void* ini akan mempermudah terjadinya retakan-retakan awal yang akan menginisiasi kegagalan material dalam menerima beban (Ramana dan Bisht, 2017).

Kemudian dari hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin banyaknya jumlah *filler* serbuk karet akan meningkatkan nilai elongasi dapat komposit. Hal ini sejalan dengan sifat karet yang memiliki modulus elastisitas dan kemampuan elongasi yang sangat tinggi. Kemampuan ini menjadi krusial dalam aplikasi pembuatan material untuk jalan. Ketidakmampuan material jalan untuk berelongasi akan meningkatkan kerusakan jalan berupa *ravelling*.

Dari hasil pengujian kekuatan kompresi maka dapat ditarik kesimpulan bahwa komposit dengan komposisi *filler* 0% memenuhi persyaratan untuk bata beton grade A, sementara untuk *filler* 5% dan 10% cocok untuk bata beton grade B, komposit dengan komposisi *filler* 15% memenuhi standar klasifikasi bata beton grade C, dan komposit *filler* diatas 15% belum memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bata beton.

4.5 Sifat Kekerasan

Sifat mekanik dari suatu material penting untuk diketahui agar suatu material dapat diaplikasikan sesuai dengan kemampuan dan kebutuhannya. Salah satu sifat mekanik yang diselidiki kali ini adalah sifat kekerasannya. Pengujian kekerasan komposit ini dilakukan dengan menggunakan alat durometer shore D dengan standard pengujian ASTM D2240 dengan indentor baja berbentuk tabung silinder. Pengujian dilakukan pada 5 titik indentasi pada setiap spesimen, kemudian diambil nilai rata – rata dari hasil



indentasi tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengisi serbuk karet terhadap sifat kekerasan Unsaturated Poliester/Vinil Ester. Gambar 4.6 menunjukkan dimensi spesimen yang digunakan dalam pengujian kekerasan.



Gambar 4.6 Dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan Komposit UPR/VE/SKBB.

Hasil pengujian komposit UPR/VE/SKBB ditunjukkan pada Tabel 4.3. Material Unsaturated poliester yang dipadukan dengan Vinil ester tanpa pengisi serbuk karet menunjukkan nilai kekerasan sebesar 62,833 Shore D. Kemudian berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan, material Unsaturated poliester yang dipadukan dengan Vinil ester dan pengisi serbuk karet sebesar 5% massa total menunjukkan nilai kekerasan sebesar 54,5 Shore D. Kemudian secara berturut-turut material komposit dengan matriks Unsaturated Poliester dan Vinil ester dan pengisi serbuk karet sebesar 10%, 15%, 20%, 25%, 30% memiliki nilai kekerasan, 53,5 Shore D, 50,6 Shore D, 43,4 Shore D, 43 Shore D, dan 30 Shore D.

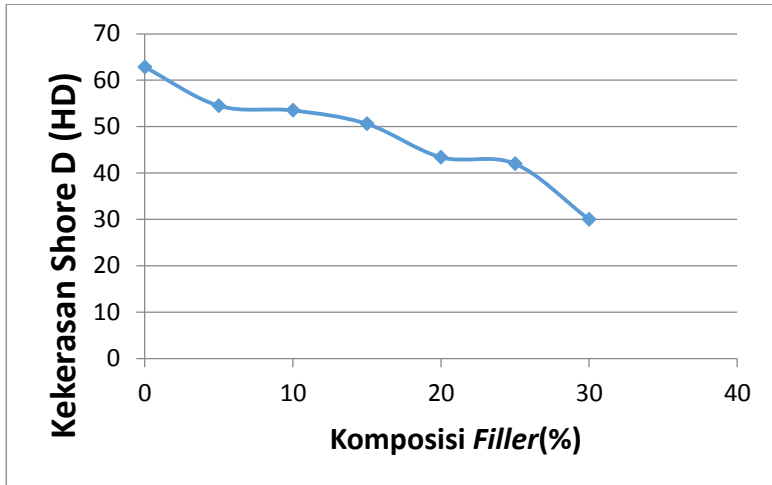


Tabel 4.4 Nilai kekerasan komposit UPR/VE/SKBB pada variasi komposisi *filler*

No.	Filler Content (%)	Hardness Shore D
1	0	63
2	5	55
3	10	54
4	15	51
5	20	43
6	25	42
7	30	30

Pada gambar 4.5 terdapat kurva nilai kekerasan komposit UPR/VE/SKBB. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pencampuran material pengisi berupa serbuk karet dari ban bekas akan menurunkan nilai kekerasan dari komposit UPR/VE/SKBB. Hal ini terjadi karena nilai kekerasan dari serbuk karet ban bekas lebih lunak dibandingkan dengan material matriks yang berupa campuran Unsaturated Poliester dan Vinil Ester.

Sifat kekerasan tertinggi dari komposit UPR/VE/SKBB ini diketahui pada komposisi material pengisi sebesar 0% yakni sebesar 62,833 shore D. *Cured* vinil ester memiliki nilai kekerasan pada temperature kamar dengan rentang 40-50 Barcol *Hardness* (S.Goodman, 1998).



Gambar 4.7 Pengaruh Pengisi Serbuk Karet terhadap komposit UPR/VE/SKBB

4.6 Kekuatan Tarik

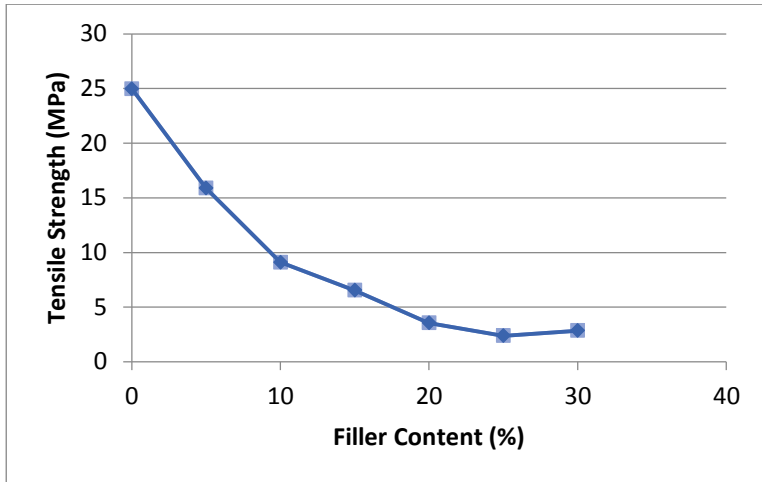
Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian yang paling umum digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanik suatu material. Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh material pengisi berupa serbuk karet dari ban bekas terhadap kekuatan tarik matriks unsaturated poliester dengan vinil ester. Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan standard pengujian ASTM D 638 tipe I. Dimensi sampel yang diujikan memiliki ketebalan rata-rata 6 mm, lebar rata-rata *gauge area* 13 mm, dan panjang total sampel rata-rata 165 mm. Pengujian dilakukan terhadap 3 sampel pada setiap komposisi dengan mencari rata-rata nilai kekuatan tarik maksimum sebagai nilai kekuatan tarik sebuah variabel. Gambar 4.8 menunjukkan dimensi pengujian kekuatan tarik komposit UPR/VE/SKBB.



Gambar 4.8 Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Komposit UPR/VE/SKBB.

Hasil pengujian kekuatan tarik ditunjukkan pada Gambar 4.7. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, kekuatan tarik polimer Unsaturated Poliester dengan Vinil ester memiliki nilai sebesar 24,971 MPa. Kemudian pada titik kedua diketahui nilai kekuatan tarik komposit UPR/VE/SKBB dengan komposisi material pengisi serbuk karet sebanyak 5% adalah sebesar 15,884 Mpa. Dilanjutkan dengan penambahan komposisi material pengisi serbuk karet menjadi 10% kembali menurunkan dengan signifikan kekuatan tarik maksimum dari komposit UPR/VE/SKBB menjadi sebesar 9,094 Mpa. Penambahan material pengisi serbuk karet menjadi 15% juga menurunkan kekuatan tarik maksimum komposit UPR/VE/SKBB menjadi 6,538 Mpa. Penambahan material pengisi serbuk karet menjadi 20% kembali menurunkan kekuatan tarik maksimum komposit UPR/VE/SKBB menjadi 3,545 Mpa. Penambahan material pengisi serbuk karet menjadi 25% kembali lagi menurunkan kekuatan tarik maksimum komposit UPR/VE/SKBB walaupun penurunan yang terjadi tidak begitu signifikan yakni sebesar 2,382 Mpa. Namun terdapat perubahan *trend* kekuatan tarik pada penambahan material pengisi serbuk karet sebesar 30%, pada komposisi ini justru kekuatan tarik maksimum komposit UPR/VE/SKBB meningkat sedikit menjadi sebesar 2,845 Mpa.

Berdasarkan pengujian ini diketahui bahwa dengan semakin banyaknya jumlah kadar serbuk karet yang dicampurkan ke dalam komposit UPR/VE/SKBB akan menurunkan kekuatan tarik maksimum komposit tersebut.



Gambar 4.9 Pengaruh Pengisi Serbuk Karet terhadap Kekuatan Tarik Komposit UPR/VE/SK.

Penurunan nilai kekuatan tarik saat adanya penambahan serbuk karet dapat terjadi karena disebabkan oleh beberapa faktor seperti bertambahnya ruang kosong, rendahnya sifat adhesi yang terbentuk antara matriks dan serbuk karet serta rendahnya kekuatan tarik dari karet itu sendiri. Bertambahnya ruang kosong atau *void* sangat berpotensi untuk menginisiasi terjadinya *crack* (Ramana dan Bisht, 2017).

Apabila mengacu pada referensi jurnal *Tensile and other Properties of Concrete Made with Various Types of Cements* yang diterbitkan oleh Natinal Bureau of Standards maka nilai kekuatan tarik beton yang disyaratkan adalah 530 lb/in² atau sebesar 3,5422 Mpa (Schuman L. dan Tucker Jr, 1993). Dengan acuan tersebut maka nilai kekuatan tarik komposit UPR/VE/SKBB dengan komposisi material pengisi serbuk karet sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% masih memenuhi persyaratan.

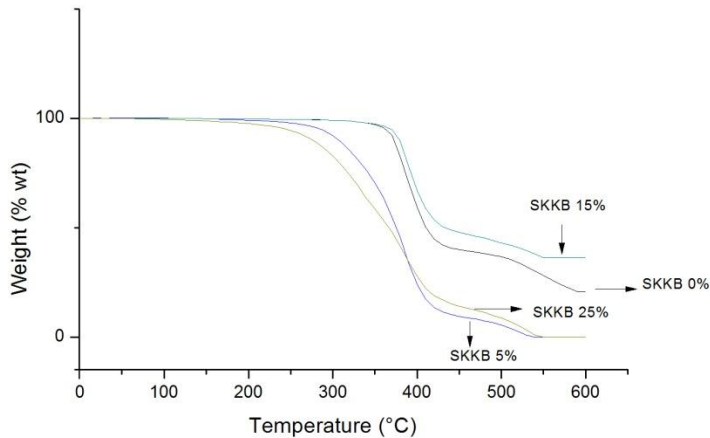


4.7 Stabilitas Thermal

Pengujian TGA bertujuan untuk mengetahui degradasi material akibat kenaikan temperatur dengan menggunakan instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Hasil dari TGA dapat digunakan untuk menyatakan batas temperatur kerja dari material sebelum mengalami degradasi. Temperatur pemanasan yang digunakan $25^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ dengan laju pemanasan sebesar $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Dalam pengujian kali ini sampel yang digunakan adalah komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi serbuk karet sebanyak 0%, 5%, 15%, dan 25%.

Gambar 4.8 menunjukkan kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi komposisi material pengisi serbuk karet. Dari kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) terlihat penurunan presentase massa atau dekomposisi massa selama proses pemanasan. Temperatur awal dekomposisi material komposit yang diuji TGA dihitung ketika material mengalami dekomposisi massa sebesar 5% (Wang dan Qi, 2015). Hal ini dikarenakan oleh stabilitas termal dari polimer dipengaruhi oleh pengurangan 5% berat awal polimer. Semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk mengurangi berat sampel hingga 5%, maka semakin stabil jenis polimer tersebut (Zhang dkk, 2011).

Gambar 4.8 menunjukkan titik T_5 dari variasi komposisi komposit material pengisi serbuk karet. Matriks campuran unsaturated poliester dan vinil ester mengalami penurunan massa 5% atau titik T_5 pada temperatur 372°C . Komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebesar 5% mengalami penurunan massa 5% atau titik T_5 pada temperatur 301°C . Kemudian komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebesar 15% mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur 380°C . Lalu, komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 25% mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperature 270°C .



Gambar 4.10 Kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dari Variasi Komposisi *Biobased* Vinil Ester.

Tabel 4.5 Pengaruh Pengisi Serbuk Karet terhadap Temperatur Dekomposisi T_5 dan T_{maks} dari Komposit UPR/VE/SKBB

Material	T_5 (°C)	T_{maks} (°C)
UPR/VE	372	380
UPR/VE/SKBB 5%	301	382
UPR/VE/SKBB 15%	380	381
UPR/VE/SKBB 25%	270	385

Tabel 4.5 menunjukkan variasi T_5 dan T_{maks} dari variasi komposisi UPR/VE/SKBB. Penambahan material pengisi serbuk karet sebanyak 5% dan 25% menurunkan nilai T_5 namun menaikkan T_{maks} . Penambahan material serbuk karet sebanyak 15% meningkatkan stabilitas temperatur dari komposit UPR/VE/SKBB.



Tahap pertama terjadinya dekomposisi terjadi pada temperatur berkisar 170-390°C yang merupakan fenomena penguapan dan dekomposisi dari senyawa yang tidak berikatan. Kemudian tahap kedua dekomposisi terjadi pada temperatur 320-450°C dengan degradasi yang cepat dan merupakan fenomena degradasi dari struktur *crosslink* polimer. Kemudian diatas temperature 450°C merupakan tahap terakhir dekomposisi atau dapat disebut juga degradasi material residu (Chengguo Liu et al, 2014)

4.8 Densitas

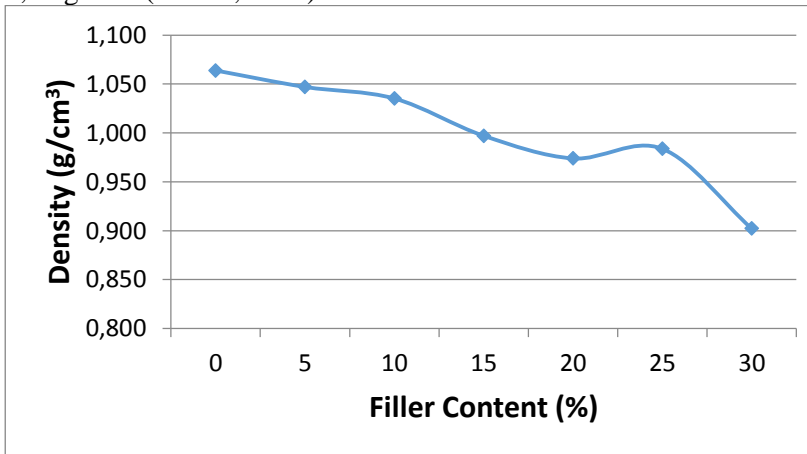
Analisa densitas atau massa jenis dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari komposit UPR/VE/SKBB. Analisa densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D-792 dengan media air. Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa spesimen solid saat di udara terbuka lalu dimasukkan ke dalam cairan yang dalam pengujian kali ini beupa air, massa yang didapat dari pencelupan kemudian dijadikan acuan untuk perhitungan densitas.

Gambar 4.10 menunjukkan massa jenis dari variasi komposisi komposit UPR/VE/SKBB. Massa jenis polimer Unsaturated Poliester dengan Vinil ester ditunjukkan pada gambar memiliki nilai densitas sebesar 1,064 gr/cm³. Kemudian nilai densitas komposit UPR/VE/SKBB dengan jumlah material pengisi sebesar 5% mengalami penurunan nilai densitas menjadi sebesar 1,04 gr/cm³. Penurunan juga terjadi pada komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 10% dengan nilai densitas sebesar 1,035 gr/cm³. Kemudian penurunan densitas kembali terjadi pada komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 15% dengan nilai densitas sebesar 0,997 gr/cm³. penurunan densitas kembali terjadi pada komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 20% dengan nilai densitas sebesar 0,973 gr/cm³. Namun pada komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 25% penurunan densitas tidaklah terjadi melainkan terjadi kenaikan densitas walaupun tidak signifikan yakni menjadi sebesar 0,983



gr/cm³. Penurunan nilai densitas kembali terjadi lagi pada komposit dengan material pengisi sebanyak 30% dengan nilai densitas sebesar 0,902 gr/cm³.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan komposisi material pengisi serbuk karet ke dalam komposit UPR/VE/SKBB akan menurunkan nilai massa jenis komposit tersebut. Hal ini terjadi karena bersamaan dengan bertambahnya jumlah material pengisi bertambah pula porositas dan ruang kosong yang ada pada komposit tersebut (Ramana dan Bisht, 2017). Porositas akan membuat komposit menjadi lebih ringan karena volume total dari komposit menjadi lebih besar namun tidak dibarengi dengan pertambahan massa dimana dalam hal ini yang mengisi ruang porositas adalah udara dengan nilai densitas yang sangat rendah. Selain itu menurunnya nilai densitas dari komposit UPR/VE/SKBB seiring dengan penambahan komposisi material pengisi serbuk karet dikarenakan rendahnya densitas dari serbuk karet itu sendiri yang berada di kisaran 0,4-0,56 g/cm³ (Peter J, 1992).



Gambar 4.11 Pengaruh Serbuk Karet terhadap Densitas Komposit



4.9 Water Absorbability

Selain pengujian mekanik yang telah dilakukan dibutuhkan juga pengujian fisik. Salah satunya adalah pengujian *absorbability* untuk mengetahui kemampuan serap air dari spesimen-spesimen yang ada.

Analisa absorbability dari komposit ini dilakukan dengan menggunakan metode sesuai ASTM D 570. Secara singkat prosedur pengujian ini dilakukan dengan meletakkan spesimen ke dalam wadah berisi air terdistilasi selama 24 jam, lalu setelah perendaman air yang menempel pada permukaan spesimen dikeringkan menggunakan kain kering, kemudian massa spesimen setelah direndam 24 jam ditimbang. Massa setelah perendaman kemudian dibandingkan dengan massa spesimen sebelum direndam untuk kemudian dilakukan perhitungan absorbability.

Tabel 4.5 menunjukkan grafik perbandingan persentase absorbability komposit UPR/VE/SKBB dengan variasi komposisi 0% - 30%. Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa pada polimer Unsaturated Poliester dengan Vinil ester didapatkan nilai persentase absorbability sebesar 0,241 %. Kemudian pada komposit UPR/VE/SKBB dengan komposisi material pengisi sebesar 5% didapatkan nilai absorbability semakin meningkat yakni 0,551%. Kemudian terjadi peningkatan signifikan nilai absorbability pada komposit UPR/VE/SKBB dengan komposisi material pengisi sebanyak 10% yakni sebesar 2,648%. Namun pada komposit UPR/VE/SK dengan komposisi material pengisi sebesar 15% didapatkan penurunan nilai absorbability menjadi sebesar 2,505%. Kenaikan nilai absorbability kembali terjadi pada komposit UPR/VE/SKBB pada komposisi material pengisi sebanyak 20% dengan nilai absorbability sebesar 2,86%. Penurunan absorbability kembali terjadi pada komposit UPR/VE/SK dengan komposisi material pengisi sebanyak 25% dengan nilai absorbability sebesar 2,78%. Namun pada komposit UPR/VE/SKBB dengan komposisi material pengisi sebanyak 30% terjadi peningkatan nilai absorbability yang cukup signifikan yakni sebesar 3,121%



Tabel 4.6 Nilai Absorbability Komposit UPR/VE/SKBB

No.	Filler content (%)	Absorbability (%)
1	0	0,24
2	5	0,55
3	10	2,65
4	15	2,5
5	20	2,86
6	25	2,78
7	30	3,12

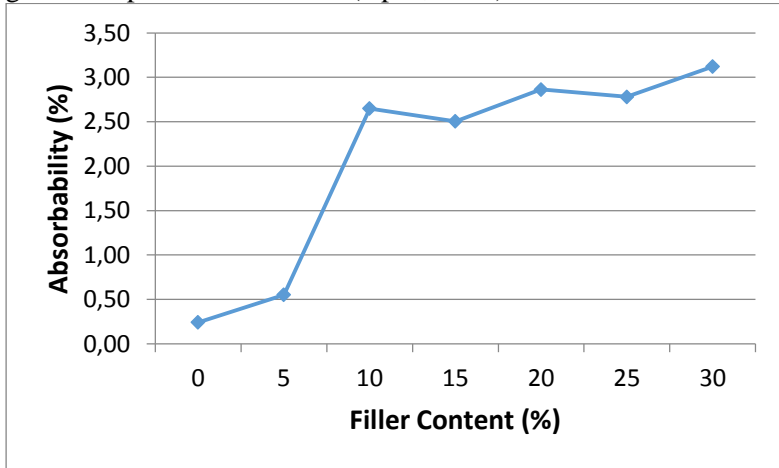
Gambar 4.12 menunjukkan nilai absorbability komposit UPR/VE/SKBB yang disajikan dalam bentuk kurva. Secara garis besar, peningkatan komposisi material pengisi serbuk karet akan memperbesar nilai absorbability dari komposit UPR/VE/SKBB. Hal ini terjadi karena adanya penambahan serbuk karet sebagai agregat halus akan meningkatkan jumlah *crack* dan *void* dalam komposit. Sebagaimana biasanya rasio *void* akan bertambah saat inklusi serbuk karet ditambahkan dalam campuran komposit yang akan menjadi jalur masuknya air ke dalam komposit (Ramana, 2017).

Namun apabila mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton, maka komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 0%-25% masih tergolong ke dalam bata beton kategori mutu tipe A dengan penyerapan air maksimal adalah 3%. Sementara untuk komposit UPR/VE/SKBB dengan material pengisi sebanyak 30% tergolong sebagai bata beton kategori mutu tipe B dengan nilai penyerapan air maksimal berada di rentang 3% -6%.

Semakin kecil nilai absorbability dari suatu komposit khususnya pada aplikasi konstruksi dan *chip seal* semakin baik. Hal ini dikarenakan kontaminasi air dapat mempercepat



perontokan lapisan chip seal yang akan mengakibatkan kegagalan geser di lapisan *basecourse*. (Opus, 2005)



Gambar 4.12 Nilai absorbability komposit UPR/VE/SK dengan variasi komposisi material pengisi 0% - 30%



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian pembuatan komposit Unsaturated Poliester/Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas dengan variasi penambahan serbuk karet ban bekas dalam persen berat dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sifat mekanik dari komposit Unsaturated Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas mengalami penurunan pada nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan.
 - Komposit Unsaturated Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas memiliki kekerasan tertinggi pada komposisi Serbuk Karet 0% dengan nilai sebesar 62,833 Shore D.
 - Komposit Unsaturated Poliester/ Vinil Ester/ Serbuk Karet Ban Bekas memiliki kekuatan tarik tertinggi pada komposisi serbuk karet 0% dengan nilai sebesar 24,971 Mpa.
2. Stabilitas temperatur komposit unsaturated poliester/ vinil ester/ serbuk karet ban bekas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah serbuk karet. Komposit unsaturated poliester/ vinil ester/ serbuk karet ban bekas memiliki stabilitas thermal tertinggi pada komposisi serbuk karet 15%

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, komposit unsaturated poliester/ vinil ester/ serbuk karet ban bekas memiliki sifat mekanik yang baik dan ramah terhadap lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai kandidat pengganti bahan konstruksi seperti untuk agregat *chip seal*, dan beton dengan nilai tambah memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi dibandingkan *chip seal* dan beton yang telah banyak beredar.



5.2 Saran

Penelitian komposit unsaturated poliester/ vinil ester/ serbuk karet ban bekas dengan variasi komposisi pengisi serbuk karet memiliki saran untuk penelitian berikutnya :

1. Menggunakan persentase massa dengan range yang lebih sempit untuk mengetahui komposisi terbaik.
2. Menambahkan silane sebagai *coupling agent* antara matriks dan bahan pengisi.
3. Menambahkan pengujian kompresi, *flexural strength*, dan *british pendulum testing* untuk menyelidiki kecocokan komposit untuk diaplikasikan di dunia nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Jdayil, Basim., Abdel-Hamid., Atif Hussain., 2016. "Investigation on the mechanical behavior of polyester-scrap tire composites". **Construction on Building Materials** 127 896-903.
- Autar K.Kaw. 2006. **Mechanic of Composite Materials Second Edition**. London : Taylor & Francis Group.
- Bujang B.K.Huat, 2004. **Application of Scrap Tires as Earth Reinforcement for Repair of Tropical Residual Soil Slope**. Malaysia : University Malaysia. Malaysia.
- Carl Thodesen, Khaldoun Shatanawi, and Sherji Amirkhanian. 2009. **Effect od Crumb Rubber Characteristics on Crumb Rubber Modified (CRM) Binder Viscosity**. Science Direct, Construction and Building Materials 23 (2009) 295303.
- Chengguo Liu dkk. 2014. **Development of Biobased Unsaturated Polyester Resin Containing Highly Functionalized Castor Oil**. Nanjing, China : Institute of Chemical Industry of Forestry Products.
- Cliff Nicholls and John Baxter, (2008), **The Design of Surface Dressing (Chip Seal) in the United Kingdom**, First Sprayed Sealing Conference – Cost Effective High Performance Surfacing, Adelaide, Australia.
- Exposure Research. 2009. **The Use of Recycled Tire Materials on Playgrounds & Artificial Turf Fields**. USA : Enviromental Protection Agency Green Purchasing Case Studies.

- Federal Project. 2008. **Standard Specifications for Construction Roads and Bridges on Federal Highway Projects.** USA : U.S. Department of Transportation.
- Goodman, S.H. 1998. **Handbook of Thermoplastic.** USA : Noyes Publications.
- Heitzman, M.A. 1992. **State of Practice Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier.** Washington DC : Federal Highway Administration
- Joana Towler and John Dawson, 2008, **History of Chipsealing in New Zealand – Hanson To P/17, First Sprayed Sealing Conference – Cost Effective High Performance Surfacing,** Adelaide, Australia.
- Justus. 2011. **YUKALAC Unsaturated Polyester resin.** <https://www.justus.co.id/?category/2/yukalac_unsaturated_polyester_resin/22/id>
- Kaniappan, K. Dan Latha, S. 2011. **Certain Investigations on the Formulation and Characterization on Polystyrene / Poly(methyl methacrylate) Blends.** USA : International Journal of ChemTech Research.
- M. Li *et al.*, 2014. “**Preparation and damping properties of (waste rubber powder) hindered phenol composites,** *J. Vinyl Add. Technol.*” 20 (4) 225–229
- Opus, McKenzie. 2005. **Chipsealing in New Zealand.** New Zealand Wellington : NZ Transport Agency.
- Peters, S.T. 1998. **Handbooks of Composites.** London : Chapman & Hall.
- Ramana P.V. dan Bisht, Kunal. 2017. **Evaluation of Mechanical and Durability Properties of Crumb**

- Rubber Concrete.** India : Construction and Building Materials.
- Ratna, Debdatta. 2009. **Handbook of Thermoset Resins.** iSmithers. Shawbury, Inggris.
- Rehan Ahmed. 1996. **RUBBER WASTE Options for Small-scale Resource Recovery.** Netherland : CW Gouda
- Santral, (2007). **Design and Construction of Surfacing Seal, Technical recommendation for Highways, South Africa National Road Agency Limited, TRH-3,** Petroria.
- Schuman dan Tucker. (1943). **Tensile and Other Properties of Concretes Made with Various Types of Cements.** USA : National Bureau Standards.
- Steven Manolis and Simon Hesp . 2001. **High Temperature Performance of Scrap Tire Rubber Modified Asphalt Concrete.** Ontario : Chemistry University
- Stevens, M.P. (2001). **Kimia Polimer.** Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Trevor Distin, (2008-a), **Development of Perfomance Requirements for Binder Distributors in South Africa, Fisrt Sprayed Sealing Conference – Cost Effective High Performance Surfacing,** Adelaide, Australia.
- Trevor Distin, (2008-b), **Sprayed Sealing Practice in South Africa, Fisrt Sprayed Sealing Conference – Cost Effective High Performance Surfacing,** Adelaide, Australia.
- Wang dan Qi. (2015) **Thermal Conductivity Improvement of Epoxy Composite Filled with Expanded Graphite.** China : Department of

Applied Chemistry, Northwestern Polytechnical University Xi'an.

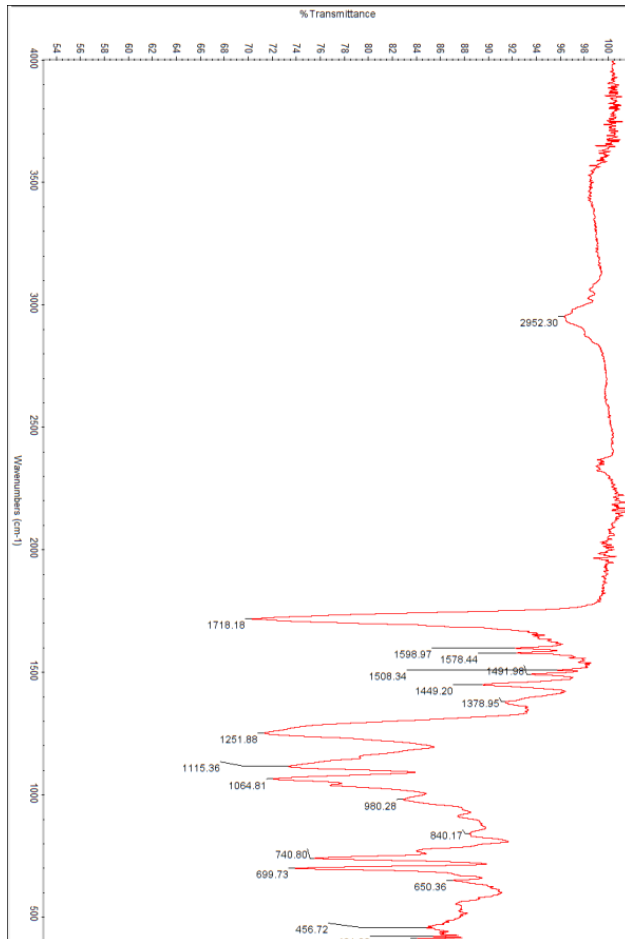
Zhang, Wenchao dkk. (2011) **Pyrolysis and Fire Behaviour of Epoxy Resin Composites Based on a Phosphorus-Containing Polyhedral Olygmeric Silsesquioxane (DOPO-POSS)**. China, Beijing : National Laboratory of Flame Retardant Materials, School of Materials, Beijing Institute of Technology.

LAMPIRAN

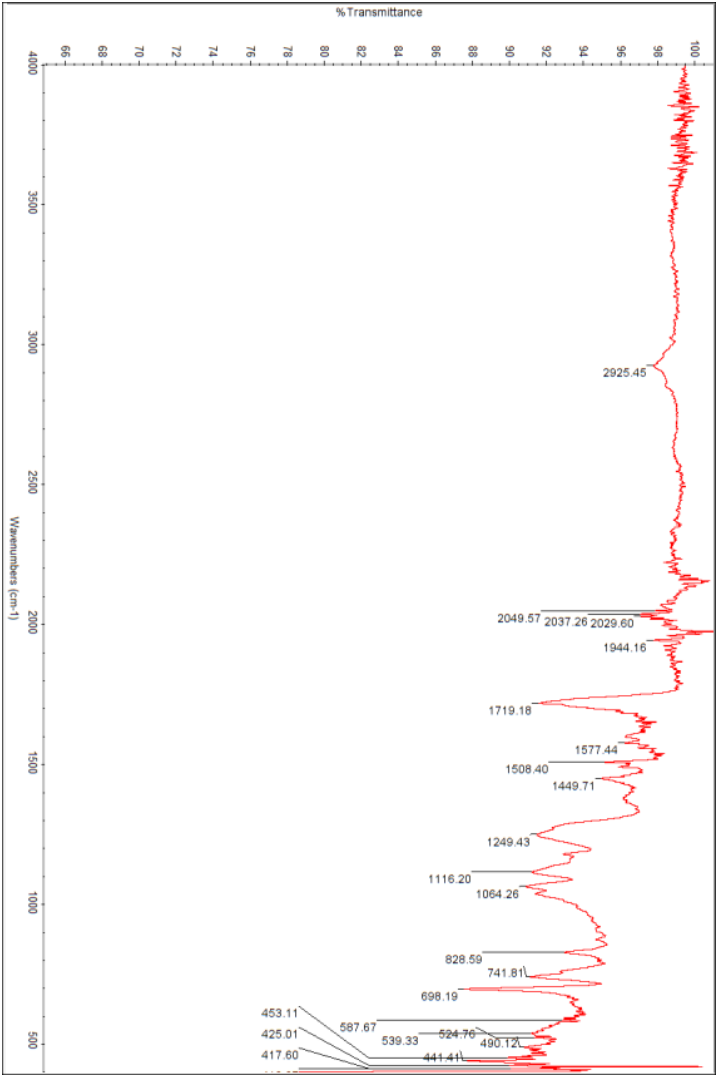
Lampiran A

Pengujian FTIR

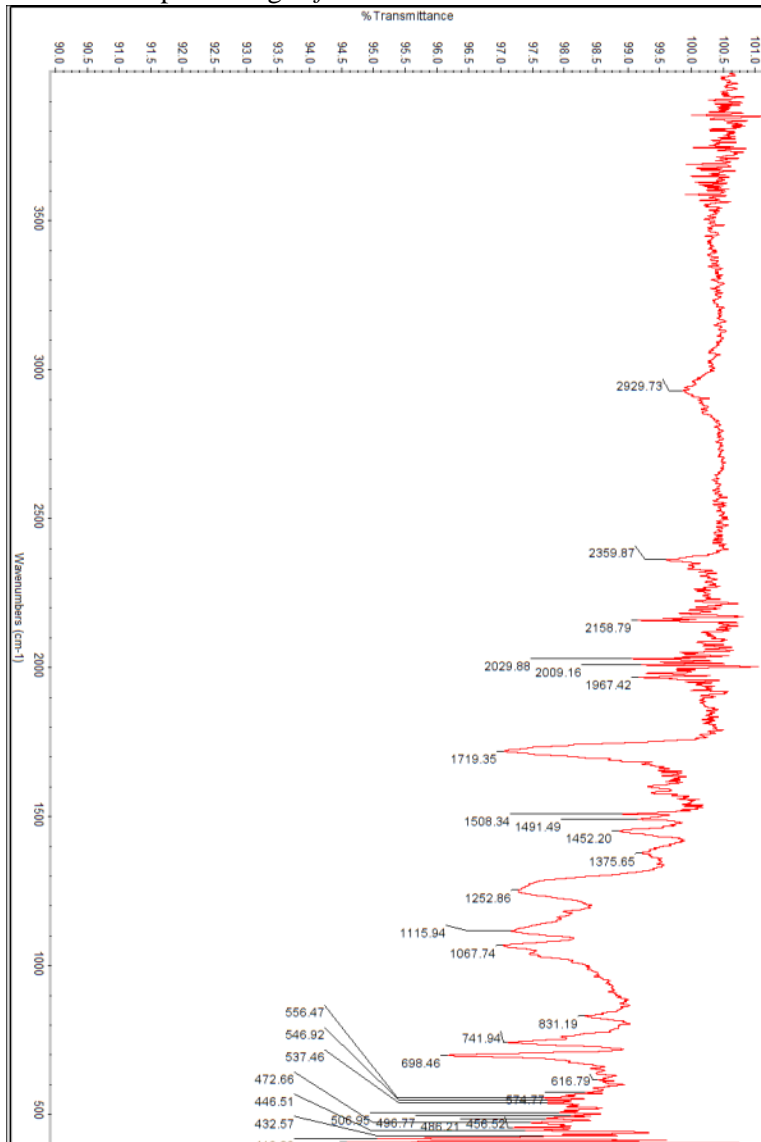
1. Komposit Serbuk Karet 0 %



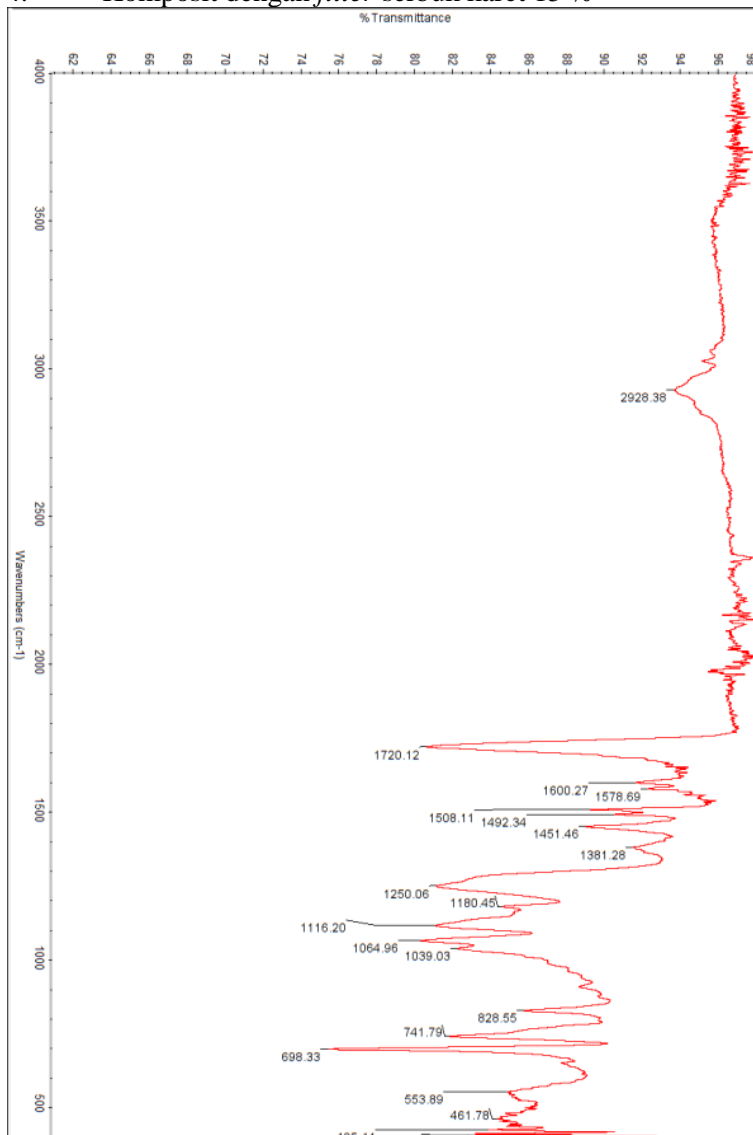
2. Komposit dengan filler Serbuk Karet 5 %



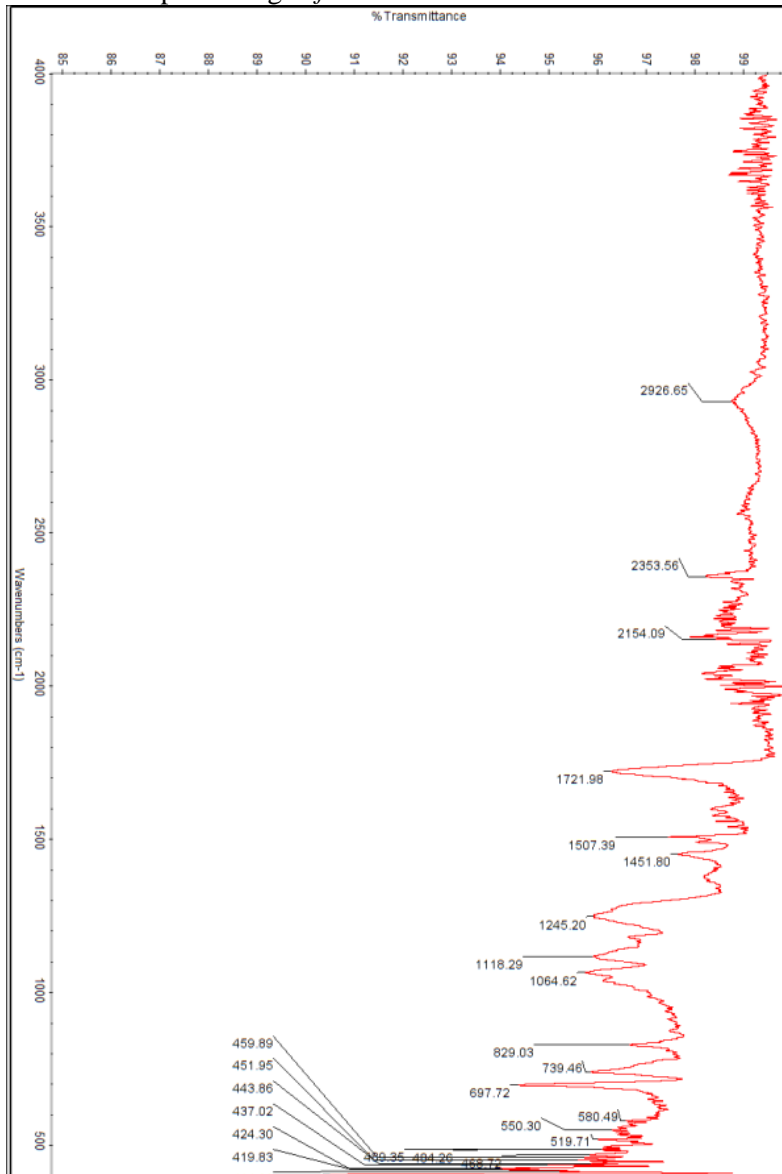
3. Komposit dengan *filler* serbuk karet 10 %



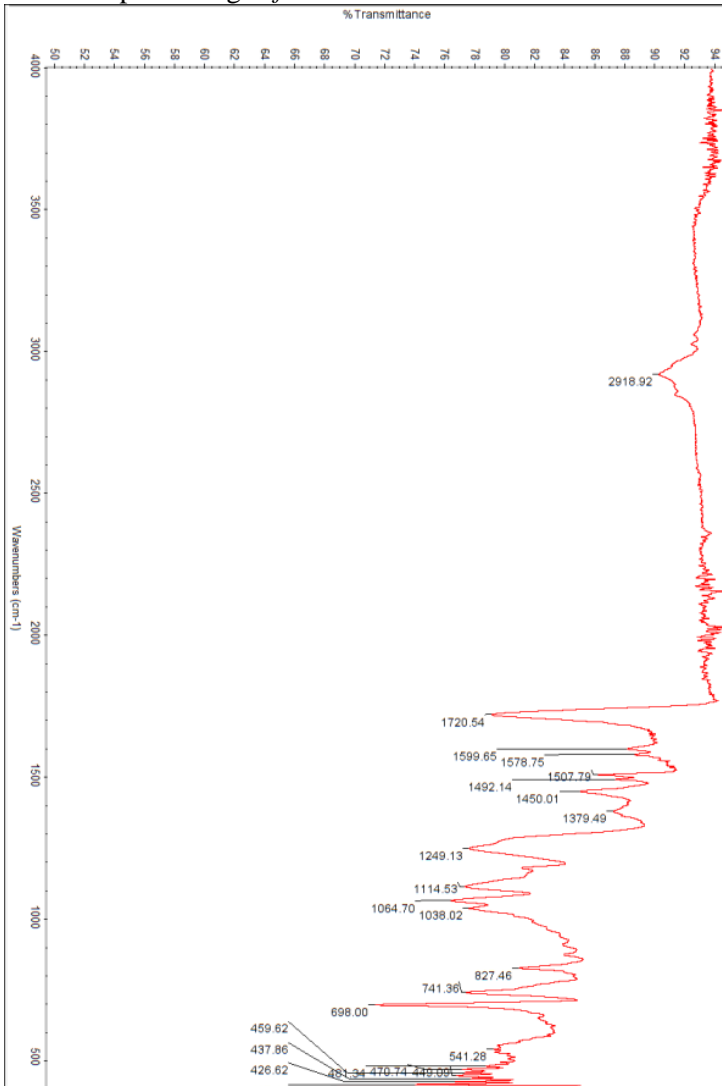
4. Komposit dengan *filler* serbuk karet 15 %



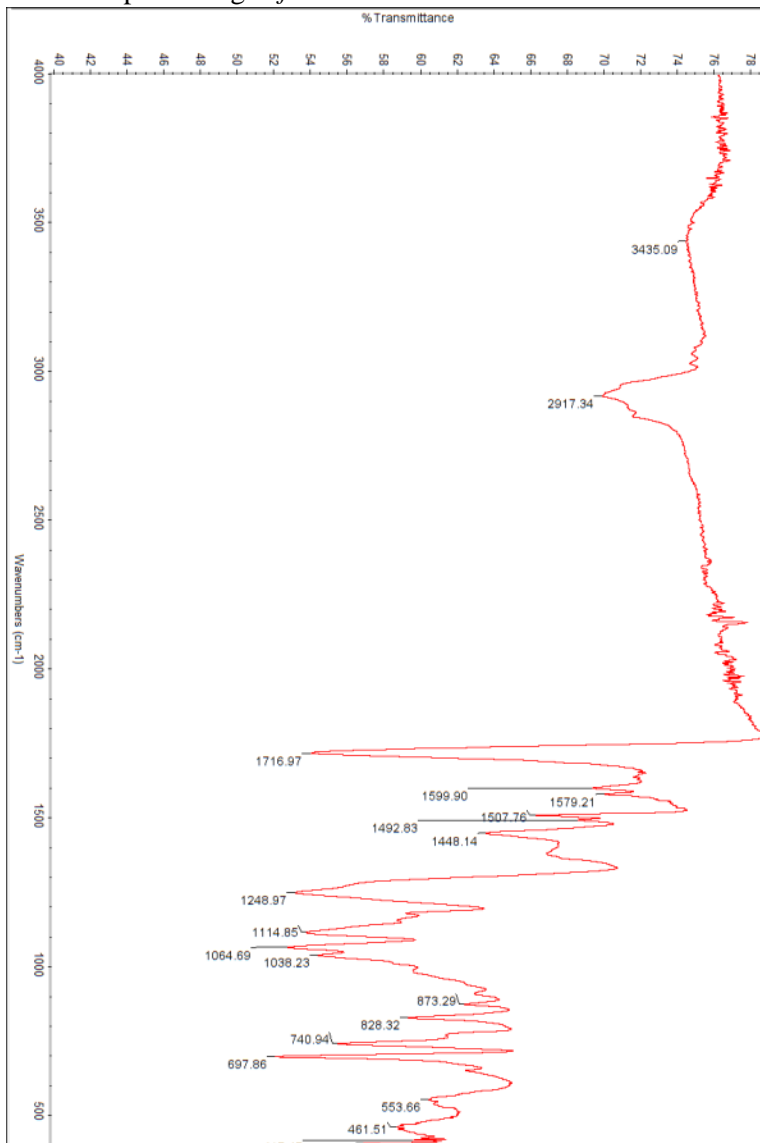
5. Komposit dengan *filler* serbuk karet 20 %



6. Komposit dengan *filler* serbuk karet 25 %



7. Komposit dengan *filler* serbuk karet 30 %



Lampiran B

3. Uji Tarik

Tensile Test							
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tebal (mm)	4	3,75	4,5	4	5	5	6
Lebar (mm)	13,5	13,5	13,3	12	13	14	13,5
Panjang gauge length (mm)	52	52	52	52	52	52	52
Panjang gauge putus (mm)							
Load (Kgf)	137,500	82,000	55,500	32,000	23,500	17,000	23,500
Load (N)	1348,414	804,145	544,269	313,813	230,456	166,713	230,456
ΔL (mm)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A (cm ²)	0,540	0,506	0,599	0,480	0,650	0,700	0,810
A (mm ²)	54,000	50,625	59,850	48,000	65,000	70,000	81,000
L (mm)	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000
σ (Kgf/cm ²)	254,630	161,975	92,732	66,667	36,154	24,286	29,012
σ (MPa)	24,971	15,884	9,094	6,538	3,545	2,382	2,845
ϵ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

4. Uji Hardness

no.	Filler percentage	HARDNESS SHORE D									
1	0	61	66	63	62	62	63				62,8333
2	5	53	52	56	56	55	55				54,5
3	10	56	55	53	52	51	54	53			53,5
4	15	51	50	48	50	54					50,6
5	20	44	45	43	41	44					43,4
6	25	36	39	44	41	50					42
7	30	38	30	29	24	27	32	31	32		30

5. Uji Density

no.	Filler percentage	MASSA KERING	MASSA BASAH	Density
1	0	5,2074	4,895	1,063820225
2	5	4,3858	4,189	1,046980186
3	10	4,5982	4,442	1,03516434
4	15	3,8925	3,904	0,997054303
5	20	6,0858	6,249	0,973883821
6	25	6,6647	6,775	0,983719557
7	30	2,0892	2,3157	0,902189403

6. Uji Water Absorbability

no.	Filler percentage	MASSA KERING	Massa Rendam 24 h	Absorbability
1	0	5,2074	5,22	0,24196336
2	5	4,3858	4,41	0,551780747
3	10	4,5982	4,72	2,648862598
4	15	3,8925	3,99	2,504816956
5	20	6,0858	6,26	2,862400999
6	25	6,6647	6,85	2,780320194
7	30	8,747	9,02	3,121070081

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Dwiki Hafizhul Oktorio, seorang pria tenar kelahiran Bukittinggi, Sumatera Barat. Rumah kelahirannya terletak sangat dekat dengan rumah kelahiran Bung Hatta sang Proklamator. Tanggal lahirnya persis bersamaan dengan tanggal lahir PBB, hari dokter Indonesia, dan hari-hari besar lainnya. Tinggal dan dibesarkan di berbagai kota telah membukakannya pada keragaman dunia. Sedikitnya terdapat 9 kota yang pernah ditinggalinya mulai dari Bukittinggi di Sumbar, P.mangole di Maluku,

Manado, Bekasi, Duri di Riau, Tangerang, Pandeglang di Banten, Surabaya, dan Nantes di Perancis. Selama hidupnya Dwiki dikenal sebagai pria yang slenge'an namun setia kawan dan senang membantu. Beberapa karyanya yang berhasil dibukukan antara lain Praktikum Fisika Dasar I, Praktikum Kimia Dasar, Praktikum Fisika Dasar II, Praktikum Kimia Analitik, Praktikum Metalurgi I, Praktikum Metalurgi II, Praktikum Perlakuan Panas, Praktikum Korosi, Praktikum Pengelasan, Praktikum Komposit, Praktikum Polimer dan Buku "Studi Sifat Mekanik dan Ketahanan Termal Komposit Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/Serbuk Karet Ban Bekas sebagai Alternatif Green Aggregate untuk Chip Seal Pavement" yang telah rampung sejak bulan Januari 2018. Dwiki kecil yang memiliki cita-cita menjadi motivator kawakan seperti Mario Teguh selalu berusaha menciptakan aura optimis pada orang-orang di sekitarnya.