

**LAPORAN PENELITIAN
TAHUN ANGGARAN 2021**

**STUDI PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME
FILLER PARTIKEL CANGKANG KERANG HIJAU
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK KOMPOSIT
POLIMER POLIESTER**

Nomor DIPA	:	DIPA BLU- DIPA 025.04.2.423812/2020
Tanggal	:	12 November 2019
Satker	:	(423812) UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
Kode Kegiatan	:	(2132) Peningkatan Akses, Mutu, Relevansi dan Daya Saing Pendidikan Tinggi Keagamaan Islam
Kode Output Kegiatan	:	(050) PTKIN Penerima BOPTN
Sub Output Kegiatan	:	(514) Penelitian (BOPTN)
Kode Komponen	:	(004) Dukungan Operasional Penyelenggaraan Pendidikan
Kode Sub Komponen	:	A Penelitian Pembinaan/Kapasitas

Oleh:

Nurun Nayiroh, M.Si (19850312 201101 2 018)



**KEMENTERIAN AGAMA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA
MASYARAKAT (LP2M)
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan Komposit Matriks Polimer (KMP) resin poliester berpenguat partikel cangkang kerang hijau (*Perna Viridis L.*) sebagai upaya pemanfaatan potensi limbah kerang hijau untuk bahan filler komposit polimer. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh fraksi volum *filler* partikel cangkang kerang hijau terhadap sifat fisis dan sifat mekanik KMP. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah matriks berupa resin poliester Yucalak157@BQTN-EX dan bahan *filler* berupa partikel cangkang kerang hijau ukuran 100 mesh dengan variasi fraksi volum *filler* 10%, 20%, 30% dan 40%. Metode pembuatan komposit ini adalah menggunakan metode *hand lay up*. Hasil penelitian ini, diperoleh nilai densitas berkisar antara 1,349-1,644 g/cm³; daya serap air antara 0,87-1,50%; dan pengembangan tebal antara 1,49-3,58%. Adapun kekuatan tarik diperoleh nilai antara 32,81-39,77 MPa di mana kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan fraksi volum filler 40% dan terendah pada spesimen dengan 10% fraksi volum *filler*; dan kekuatan impak (keuletan) antara 0,190-0,317 J/mm² di mana nilai harga impak tertinggi terdapat pada spesimen dengan fraksi volum *filler* 10% dan terendah pada 40% fraksi volum *filler*. Kemudian kekerasan spesimen diperoleh nilai antara 74,25-85,75 HD di mana nilai kekerasan tertinggi terdapat ada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 30% dan terendah pada sampel uji 20% fraksi volum *filler*. Peningkatan nilai kekuatan tarik dipengaruhi oleh penambahan komposisi *filler* yang semakin besar. Sebaliknya keuletan/harga impak menurun seiring bertambahnya *filler* yang diberikan. Kemudian nilai kersan komposit mengalami kenaikan yang fluktuatif disebabkan distribusi *filler* serbuk cangkang yang tidak merata. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur, semakin besar komposisi *filler* yang ditambahkan pada matriks dapat mengurangi ukuran void yang terbentuk pada komposit yang telah dibuat, dapat diartikan persebaran *filler* semakin merata.

Kata Kunci: Fraksi volum *filler*; cangkang kerang hijau; sifat fisis; sifat mekanik; poliester; komposit matriks polimer (KMP).

KATA PENGANTAR

Puji Syukur alhamdulillah, atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan penelitian yang berjudul “Studi Pengaruh Variasi Fraksi Volume Filler Partikel Cangkang Kerang Hijau Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Komposit Polimer Poliester” dapat terselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan tersebut sangat sulit bagi penulis untuk dapat menyelenggarakan kegiatan penelitian ini.

Penulis telah berusaha untuk menyempurnakan tulisan ini, namun sebagai manusia penulis pun menyadari akan keterbatasan maupun kekhilafan dan kesalahan yang tanpa disadari. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak akan sangat diperlukan untuk perbaikan laporan ini.

Malang, Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi.....	iii
BAB I Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Kajian Riset Sebelumnya	5
BAB II Kajian Pustaka	7
2.1 Material Komposit.....	7
2.2 Jenis-jenis Komposit	8
2.3 Kerang Hijau (Perna Viridis)	8
2.4. Resin Poliester.....	10
2.5 Pengujian Sifat Mekanis.....	13
BAB III Metode Penelitian	15
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.2 Waktu dan Tempat	21
3.3 Alat dan Bahan	21
3.4 Skema Penelitian	23
3.5 Pembuatan Komposit	24
3.6 Pengujian Sifat Fisis.....	25
3.7 Pengujian Sifat Mekanik	27
3.8 Teknik Pengumpulan Data	30
BAB IV Hasil Penelitian Dan Pembahasan.....	31
4.1 Hasil Pengujian	31
4.2 Pengujian Fisis	31
4.3 Pengujian Mekanik.....	38
4.4 Pembahasan	49
BAB V Penutup.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2Saran	55
Daftar Referensi	56
Glosarium	60
Indeks	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya teknologi saat ini memicu peneliti untuk melakukan terobosan baru di bidang ilmu material yang ramah lingkungan (*green technology material science*). Selain itu juga untuk mengurangi pemakaian produk berbasis minyak bumi (*petroleum based product*) sehingga banyak perusahaan dunia yang memandang material komposit yang diperkuat serat alam mempunyai potensi sangat baik untuk menggantikan *petroleum based product* (Omar Faruk *et al.*, 2013). Serat alam dapat dikategorikan sebagai serat yang ramah lingkungan, murah, mudah dibudidayakan, serta memiliki kekuatan mekanik yang tinggi (Avoka E, *et.al.*, 2013).

Di antara kelebihan material komposit adalah memiliki sifat mekanis, optis, listrik yang baik, densitas yang rendah, tahan terhadap korosi, sampai ketahanan terhadap termal. Selain itu, komposit juga dapat menekan biaya produksi, sampai kemudahan proses pembuatan dan fabrikasi. Material komposit biasanya dicampurkan dengan material lain guna memperoleh keuntungan yang diinginkan.

Material komposit polimer mempunyai matriks yang disebut resin *epoxy* dan *polyester* yang di dalamnya juga terdapat kandungan katalis atau *hardener* sebagai pengeras bahan untuk mempercepat proses pengerasan pada pembuatan komposit. Resin dan katalis dicampur dalam satu wadah dan terjadi proses pengerasan atau polimerisasi. Dalam penelitian ini, pembuatan

komposit dimaksudkan untuk pembuatan bahan dasar papan komposit kapal, dimana resin *polyester* dipilih karena memiliki sifat daya tahan yang bagus dan tahan terhadap korosi. Selain itu, hampir 75% resin ini digunakan dalam bidang perkapalan (Justus, 2015).

Telah banyak dilakukan penelitian komposit polimer untuk meningkatkan kualitas polimer antara lain dengan menggunakan serat atau pengisi alam dengan mencampurkannya dalam *polyester* guna meningkatkan sifat fisis dan mekanisnya. Bahan-bahan yang ada di lingkungan sekitar bisa dimanfaatkan sebagai bahan penguat dari komposit polimer seperti cangkang kerang yang merupakan limbah laut yang jumlahnya melimpah di daerah pesisir. Dengan memanfaatkan limbah cangkang kerang selain kita mampu mengurangi limbah di lingkungan, kita juga mampu mengurangi biaya operasional dan mendapatkan nilai tambah tersendiri. Mufidun (2016) telah melakukan penelitian komposit dengan matriks poliester dan *filler* cangkang kerang simping sebagai bahan dasar pembuatan papan komposit kapal. Dalam penelitian tersebut diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 0.1705-1.462 MPa dan kekuatan lentur sebesar 39.4-132.8 MPa, selain itu juga dapat dilakukan penghematan komposisi matriks resin *polyester* hingga 40% w/w dengan komposisi *filler* lebih banyak jika dibandingkan dengan serbuk kalsit alam.

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan binatang lunak (*Molusca*) yang hidup dilaut terutama pada daerah litoral, memiliki sepasang cangkang (*Bivalvia*) berwarna hijau agak kebiruan, insang berlapis-lapis dan berkaki kapak serta memiliki benang *byssus*. Kerang hijau adalah “*suspension feeder*”, dapat berpindah-pindah

tempat dengan menggunakan kaki dan benang *byssus*, hidup dengan baik diperairan dengan kisaran kedalaman kurang dari 10 m, dengan toleransi terhadap perubahan salinitas antara 27-35 per mil. Di perairan Indonesia kerang hijau dapat ditemukan pada perairan pesisir, daerah mangrove dan muara sungai (Cappenberg, 2008).

Kerang merupakan alat pelindung diri yang terdiri atas lapisan karbonat, dipisahkan oleh lapisan tipis protein di antara cangkang dan bagian tubuh (otot dan daging) (Setyono, 2006). Penelitian yang dilakukan oleh Xu dan Zang (2014) menyebutkan bahwa periostrakum kerang hijau memiliki tiga lapisan, dimana lapisan dalam dan luar terdiri dari protein, sedangkan lapisan tengah merupakan mineral CaCO_3 . Kandungan mineral utama dalam cangkang kerang hijau sebagian besar adalah CaCO_3 dan sebagian kecil $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Sinardi dkk, 2013). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Siriprom *et al* (2011) menggunakan analisis EDXRF (*Energy Dispersive X-Ray Fluorescence*) menyebutkan kandungan yang terdapat pada cangkang kerang hijau yaitu Ca 99,5%, Sc 0,24% dan Sr 0,47%.

Berdasarkan uraian di atas, dengan adanya kandungan CaCO_3 yang cukup besar pada cangkang kerang hijau maka berpotensi untuk dijadikan bahan *filler* pada komposit polimer dengan matriks *polyester*. Oleh karena itu, Penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Studi Pengaruh Variasi Fraksi Volume *Filler* Partikel Cangkang Kerang Hijau Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Komposit Polimer Poliester”. Pemanfaatan bahan alam cangkang kerang hijau diharapkan dapat membentuk daerah *interface* (antar muka) yang lebih baik dari kalsit alam sehingga

diperoleh kekuatan mekanis yang lebih baik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar papan komposit berpenguat partikel cangkang kerang hijau.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi fraksi volum partikel cangkang kerang hijau terhadap sifat fisis komposit polimer *polyester*?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi fraksi volum partikel cangkang kerang hijau terhadap sifat mekanik komposit polimer *polyester*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Pengaruh variasi fraksi volum partikel cangkang kerang hijau terhadap sifat fisis komposit polimer *polyester*?
2. Pengaruh variasi fraksi volum partikel cangkang kerang hijau terhadap sifat mekanik komposit polimer *polyester*?

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian kasus ini, peneliti membatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Bahan matriks polimer yang digunakan adalah jenis resin *polyester* dengan merek dagang Yucalak157@BQTN-EX Series produksi PT JustusSakti Raya.

2. Bahan *filler* yang digunakan adalah partikel cangkang kerang hijau dengan ukuran 100 mesh.
3. Fraksi volum *filler* yang digunakan adalah 10%, 20%, 30% dan 40%.
4. Karakterisasi sifat mekanik komposit yang dilakukan adalah uji kekuatan tarik, impak dan kekerasan.
5. Karakterisasi sifat fisis yang dilakukan adalah uji densitas, daya serap air, dan pengembangan tebal.

1.5 Kajian Riset Sebelumnya

Beberapa penelitian komposit polimer dengan penguat berbasis cangkang kerang diantaranya adalah:

- a. Ahmad Mufidun (2016) dengan judul “Pemanfaatan *Filler* Serbuk Cangkang Kerang Simping (*Placuna Placenta*) Dan Matriks Poliester Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Papan Komposit”. Dalam penelitian ini menggunakan *filler* cangkang kerang simping dengan variasi ukuran dan komposisi. Hasil dari penelitian ini, nilai densitas 1.359-1.756 g/cm²; daya serap 0,50-5,97%; pengembangan tebal 0.20-7.50%; kekuatan tarik 0.1705-1.462 MPa; modulus Young 35.3-105.5 MPa; dan kekuatan lentur 39.4-132.8 MPa. Peningkatan komposisi dan ukuran *filler* yang semakin halus berpengaruh pada ukuran gelembung-gelembung udara yang semakin kecil.
- b. Sumarauw (2017) melakukan penelitian sifat mekanis material komposit berpenguat cangkang kerang kepiting dengan variasi fraksi volum partikel 10%, 20%, dan 30%. Dalam penelitian ini matriks yang digunakan adalah resin polyester dan *fillernya* adalah partikel cangkang kepiting dengan ukuran 200 mesh.

Pada pengujian impak diperoleh nilai tertinggi pada fraksi volum partikel 20% dengan nilai tenaga patah 688,1 J dan harga keuletan sebesar 7,6 J/mm². Sedangkan kekuatan tarik komposit mengalami penurunan setelah ditambah *filler* cangkang kepiting.

- c. Saputra (2017) dengan judul “ Sifat Mekanik Komposit Partikel Cangkang Kerang Darah Bermatriks Poliester Justus 108 Menggunakan Fraksi Volume 10%, 20%, 30%. Dalam penelitian disebutkan bahwa dengan penambahan fraksi volum *filler* cangkang kerang darah, nilai kekuatan tarik dan pengujian impak mengalami penurunan.

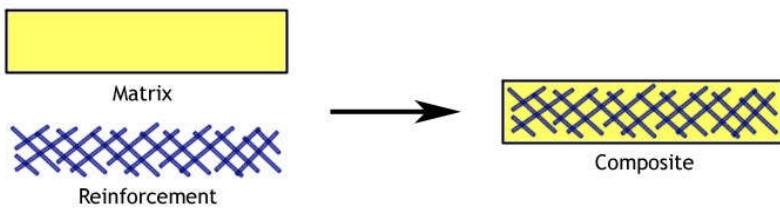
Berdasarkan beberapa riset yang sudah pernah dilakukan, maka penelitian ini mencoba menggunakan bahan partikel cangkang kerang hijau sebagai *fillernya* dengan variasi fraksi volum partikel 10-40%, sedangkan matriks yang digunakan adalah *polyester unsaturated* Yukalac. Komposit ini harapannya dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan papan komposit.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Material komposit adalah material yang tersusun atas campuran dua atau lebih material dengan sifat kimia dan sifat fisika berbeda, dan menghasilkan sebuah material baru yang memiliki sifat berbeda dengan material – material penyusunnya. Material komposit tersusun atas dua tipe material penyusun yakni matriks dan serat (*fiber*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, serat berfungsi sebagai penguat atau material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatan serat dan meneruskan beban ketika material komposit memperoleh beban (Onny, 2017).



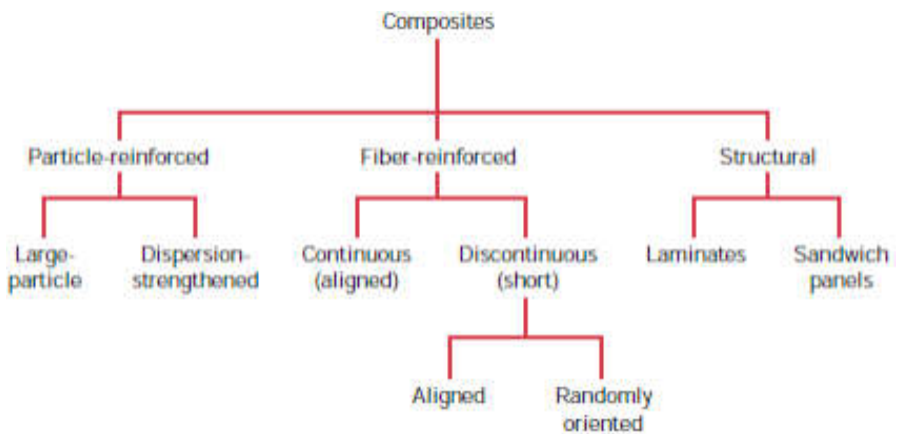
Gambar 2.1 Susunan komposit (Onny, 2017)

Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan tarik (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young/density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga

digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi (Sirait, 2010).

2.2 Jenis-jenis Komposit

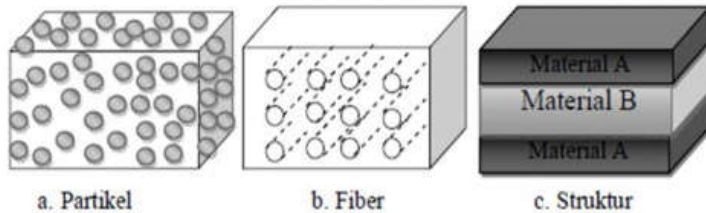
Jenis-jenis komposit dapat dibagi berdasarkan sifat dan strukturnya. Jenis komposit berdasarkan bahan pengisinya dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu komposit partikulat, komposit fiber dan komposit struktural, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jenis komposit berdasarkan bahan pengisinya (Callister, 2014).

Berdasarkan sifat penguatnya, komposit dibagi menjadi dua yaitu komposit isotropik dan anisotropik. Komposit isotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (baik dalam arah transversal maupun longitudinal) sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Sebaliknya komposit anisotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan

mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama (baik arah transversal maupun longitudinal). Seperti diilustrasikan pada Gambar 2.3 (Agus, 2008).



Gambar 2.3 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya (Agus, 2008).

a. Komposit serat (*fiber composite*)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Bila peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi, agar beban ditransfer melewati titik dimana mungkin terjadi perpatahan (Vlack L. H., 2004). Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih

tinggi dari pada matrik penyusun komposit (Vlack L. H., 1985).

b. Komposit Partikel (*particulated composite*)

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matrik. Komposit yang terdiri dari partikel dan matrik yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren di antara fase partikel dan matrik yang menunjukkan sambungan yang baik.

c. Komposit Laminat (*laminated composite*)

Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat *hybrid* (Widodo, 2008).

2.3 Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Kerang hijau (*Perna viridis*) atau yang dikenal sebagai *green mussel* adalah

binatang lunak (*mollusca*) yang hidup di laut, memiliki sepasang cangkang dan berwarna hijau. Kerang hijau merupakan organisme kelas *pelecypoda*, dimana kelas *pelecypoda* selalu mempunyai cangkang katup sepasang sehingga disebut *bivalvia*.

Kerang hijau (*Perna viridis*) dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Animalia

Phylum : Mollusca

Class : Bivalvia

Subclass : Lamellibranchia

Orde : Mytiloidea

Family : Mytilidae

Genus : Perna

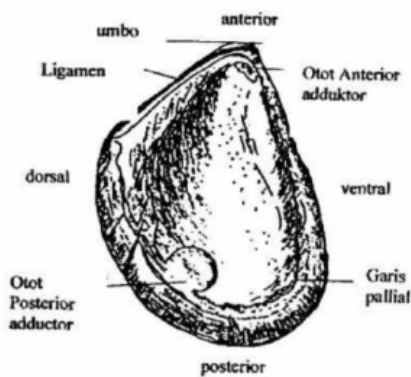
Species : viridis (Linnaeus 1758)

(Ki

mball, 1983).

Secara eksternal, akan sulit untuk memastikan jenis kelamin pada *Perna viridis*. Secara internal, jaringan gonad dari kerang jantan dewasa secara seksual berwarna krem-putih, sedangkan kerang betina berwarna kemerahan. Oleh karena itu, kerang betina dewasa memiliki daging berwarna oranye, sementara kerang jantan dewasa memiliki daging putih (Gosling, 2003). Kerang hijau memiliki bentuk kaki kecil seperti bentuk lidah, dengan alur pada permukaan ventral yang terus menerus sampai lubang *byssal*. Dalam lubang ini, sekresi kental memancarkan, melewati alur dan pengerasan secara bertahap pada saat kontak dengan air laut. *Byssal* sangat kuat dan elastis yang berfungsi menahan kerang pada substrat keras (Power *et al*, 2004).

Perna merupakan salah satu genus dari famili *mytilidae*, genus lain adalah *Mytilus*. Pada kerang dewasa antara *Perna* dan *Mytilus* dapat dibedakan oleh berkas otot penghubung yang meninggalkan pola lebih melebar pada cangkang bagian dalam *Perna*. Selain itu terdapat otot *anterior adductor* pada *Mytilus*, termasuk pada individu yang masih muda, sedangkan pada *Perna* tidak ditemukan adanya otot tersebut.



Gambar 2.4 Bagian-bagian cangkang kerang hijau (Gosling, 2003).

Kerang hijau memiliki dua katup cangkang dengan ukuran yang sama. Pada Gambar 2.4 katup berengsel anterior terdapat pada daerah umbo. Garis *pallial* merupakan bagian dari kerang yang terdapat di sepanjang mantel. Pada bagian dalam setiap katup terdapat dua otot, otot *posterior adductor* lebih kecil dari otot *anterior adductor*. Otot *anterior adductor* dan otot *posterior adductor* melekat pada kerang, otot tersebut berfungsi untuk mengontrol pergerakan kerang. *Bysus* muncul melalui bagian ventral dari kerang dan berfungsi untuk melekatkan kerang dengan substrat atau kerang lainnya (Gosling, 2003).

Kerang hijau (*Perna viridis*) memiliki besar 80-100 mm dan kerang yang cepat tumbuh. Kerang hijau biasanya terdapat pada kedalaman kurang dari 10 m dan hidup selama kurang lebih tiga tahun (Soon *et al*, 2014). Bentuk cangkang kerang hijau agak meruncing pada bagian belakang, berbentuk pipih pada bagian tepi serta dilapisi periostrakum pada bagian tengah cangkang. Pada fase *juvenil* cangkang berwarna hijau cerah dan pada fase dewasa warna mulai memudar dan menjadi coklat dengan tepi cangkang berwarna hijau. Sedangkan pada bagian dalam cangkang berwarna hijau kebiruan (Cappenberg, 2008). Lapisan dalam dan luar pada cangkang kerang hijau terdiri dari protein, sedangkan lapisan tengah merupakan mineral dengan *nanospheres* amorf yang berkarbonasi Ca-Mg fosfat (ACCP). *Nanospheres* ini dapat bertindak sebagai stabilizer pH untuk memfasilitasi mineralisasi awal kerang, dan juga memberikan perlindungan yang lebih baik untuk kerang CaCO₃ (Xu & Zang, 2014).

2.4 Resin Poliester

Matrik polyester paling banyak digunakan terutama untuk aplikasi kontruksi ringan. Selain harganya murah, resin ini mempunyai karakteristik yang khas yaitu dapat diwarnai, transparan, dapat dibuat kaku dan fleksibel, tahan air, tahan cuaca dan bahan kimia. *Polyester* dapat digunakan pada suhu kerja mencapai 79°C atau lebih tinggi tergantung partikel resin dan keperluannya (Schwartz, 1984). Hampir 75% penggunaan resin *polyester* Yukalac 157@BQTN-EX untuk bahan dasar pembuatan kapal fiber di Indonesia karena memiliki harga yang murah dibandingkan dengan resin sejenisnya (Justus, 2015). Resin

polyester ini memiliki spesifikasi sebagaimana tertuang pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin (UPR) Yukalac 157@BQTN-EX (Justus, 2001 dalam Mufidun, 2016).

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat Jenis	-	1,215	25°
Penyerapan Air (Suhu Ruang)	%	0,188	24 Jam
		0,466	7 Hari
Keteguhan lentur	Kgf/mm ²	9,4	
Modulus Fleksural	Kgf/mm ²	300	
Keteguhan Tarik	Kgf/mm ²	5,5	
Modulus Tarik	Kgf/mm ²	300	
Elongasi	%	2,1	

Penggunaan stirena untuk bahan polister berbasis produksi komposit mulai dikurangi karena emisi stirena menyebabkan masalah kesehatan dan digantikan oleh katalis untuk proses curing polyester (Mazumdar, 2001). Bahan yang dapat digunakan untuk katalis adalah bahan peroksida alami seperti pada *Benzoyl peroxide* atau MEKP (*Methyl Ethyl Keton Peroxside*). Semakin banyak katalis yang ditambahkan pada resin maka semakin cepat pula proses curing yang berlangsung, apabila katalis yang digunakan berlebihan akan berdampak pada material yang dihasilkan menjadi getas atau resin bisa terbakar. Penambahan katalis yang baik adalah 1% dari volume resin (Justus, 2001 dalam Mufidun, 2016). Bila terjadi reaksi akan timbul panas 60°- 90° C. Panas itu cukup untuk mereaksikan resin sehingga diperoleh kekuatan dan bentuk plastik yang maksimal sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan (Nurmalita, 2010).

2.5 Pengujian Sifat Mekanik

a. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan (*stress strain tests*). Dari pengujian tarik dapat diketahui beberapa sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa yang dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya temperatur, kelembaban, dan laju tegangan.

(a). Kekuatan Tarik

Besarnya kekuatan tarik dari material komposit dapat ditentukan dengan persamaan (Surdia *et al.*, 1999).

$$\text{Engineering stress } (\sigma) = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

Dimana :

F=Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang sampel (N)

A₀=Luas penampang mula – mula sampel (mm²)

σ = Engineering stress (MPa)

(b). Regangan Tarik

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan disbanding dengan panjang daerah ukur (*gage length*) dengan persamaan (Surdia *et al.*, 1999).

$$\text{Engineering strain } (\epsilon) = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.2)$$

Dimana :

ϵ = Engineering strain

l₀ = Panjang daerah ukur (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah tegangan regangan yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku Hk. Hooke.

Besarnya nilai modulus elastisitas dihitung dengan menarik garis lurus kurva hasil uji kekuatan tarik (Gambar 2.5) pada kondisi elastis (ASTM D638-02).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.3)$$

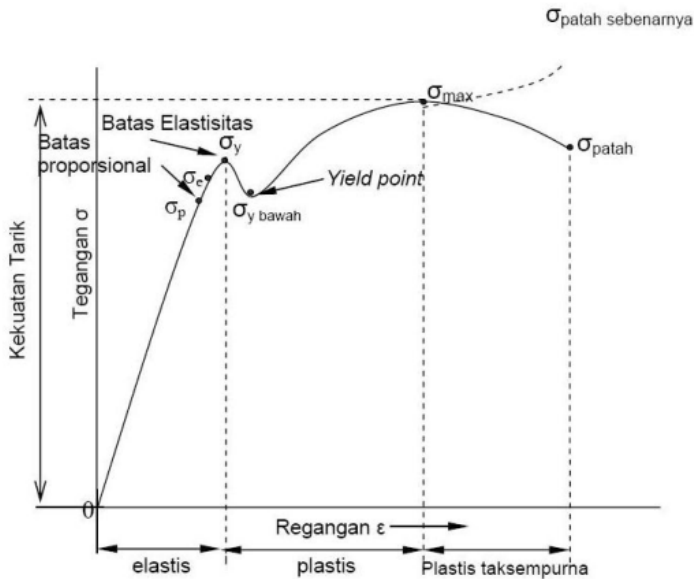
Dimana :

E = Modulus elastisitas tarik (MPa)

σ = *Engineering stress* (MPa)

ε = *Engineering strain*

Hasil dari uji tarik akan diperoleh grafik berupa kurva seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Kurva tersebut menunjukkan hubungan antara gaya tarik dan perubahan panjang. Puncak kurva menunjukkan titik kritis regangan ketika material putus.



Gambar 2.5 Skema grafik hasil uji kekuatan tarik (ASTM D638-02).

b. Uji Impak

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Dalam pengujian mekanik, terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan, uji puntir adalah pengujian yang menggunakan beban statik. Sedangkan uji impak menggunakan beban dinamik. Pada pembebanan cepat atau disebut juga beban impak, terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen. Proses penyerapan energi ini akan diubah dalam berbagai respon pada material seperti deformasi plastis, efek isterisis, gesekan dan efek inersia (Danid, 2010).

Secara umum metode pengujian impak terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Metode Charpy

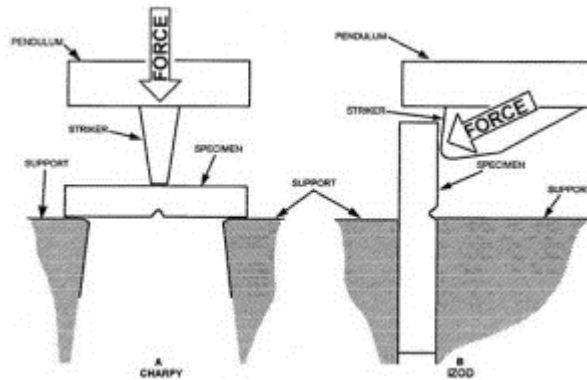
Merupakan pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/ mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

Beberapa kelebihan dari metode Charpy, antara lain :

- Hasil pengujian lebih akurat.
- Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
- Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang.
- Waktu pengujian lebih singkat.

Sementara kekurangan dari metode Charpy, yaitu :

- Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.
- Spesimen dapat bergeser dari tumpuan karena tidak dicekam.
- Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil.



Gambar 2.6 Ilustrasi skematik pembebanan impact pada benda uji Charpy dan Izod (Danid, 2010).

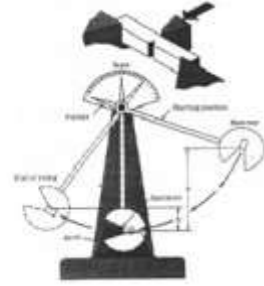
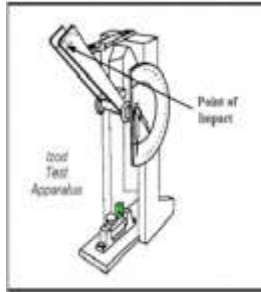
2. Metode Izod

Merupakan pengujian impact dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan. Pada umumnya metode Charpy banyak digunakan di Amerika sedangkan metode Izod digunakan di Eropa. Kelebihan metode Izod, antara lain :

- Tumbukan tepat pada takikan dan spesimen tidak mudah bergeser karena salah satu ujungnya dicekam.
- Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.

Kerugian penggunaan metode Izod, antara lain :

- Biaya pengujian lebih mahal.
- Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
- Hasil perpatahan kurang baik.
- Waktu yang digunakan untuk pengujian cukup panjang karena prosedur pengujian yang banyak.



Gambar 2.7 Ilustrasi skematis pengujian impact (Danid, 2010).

Pengujian impact yang dilakukan menggunakan alat uji impact charpy. Prinsip dasar dari pengujian ini adalah dengan mengayunkan beban (pendulum) yang dikenakan pada benda uji. Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dihitung langsung dari perbedaan energi potensial pendulum pada awal dijatuhkan dan akhir setelah menabrak spesimen. Persamaan yang digunakan adalah:

$$E = m \cdot g \cdot l \cdot \cos(\beta - \alpha) \quad (2.4)$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2.5)$$

Di mana

m = massa pendulum (kg)

g = percepatan gravitasi ($0,98 \text{ m/s}^2$)

l = panjang lengan pendulum (m)

α = sudut ayunan awal ebelum menabrak spesimen

β = sudut ayunan awal ebelum menabrak spesimen

A = luas penampangpatahan (m^2)

E = Energi Impact (J)

HI = harga impak/keuletan (J/mm^2)

c. Uji kekerasan

Kekerasan adalah daya tahan bahan terhadap goresan atau penetrasi pada permukaannya. Definisi yang lain adalah ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi plastis. Tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan tergantung cara pengujian, yaitu kekerasan goresan (*scrath hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*), dan kekerasan pantulan (*rebound hardness*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*) (Eko, 2016).

Uji kekerasan pada penelitian ini menggunakan uji *shore*. Uji ini menggunakan alat ukur tekan dengan menggunakan jarum tajam, Teclock GS-720N type D. Untuk polimer terdapat dua skala pengukuran, yakni *shore* D untuk plastik atau karet keras dan *shore* A untuk karet lembut. *Shore* D menggunakan penekan berupa kerucut yang ditahan oleh pegas yang telah dikalibrasi. Nilai *shore* D menunjukkan kedalaman penetrasi yang dikenakan penekan pada permukaan sampel uji. Alat uji durometer dengan metode *shore* D *hardness* yang merujuk pada ukuran standard uji *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D2240-15 dengan panjang 80 mm, lebar 70 mm, dan tebal 6 mm (Athaya, 2006)..

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah studi eksperimental dengan melakukan pendekatan penelitian secara kuantitatif. Sedangkan analisis hasil penelitian ini akan dideskripsikan dari hubungan komposisi *filler* cangkang kerang hijau dengan hasil pengujian sifat fisis dan mekanis.

3.2 Waktu dan Tempat penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Pebruari - Agustus 2020 di laboratorium Riset Fisika dan Material Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, yang beralamatkan di Jalan Gajayana No.50 Malang.

3.3 Alat dan Bahan

A. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah antara lain: cetakan terbuat dari kaca yang berfungsi untuk mempermudah pada saat pembuatan komposit sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Cetakan pada pengujian tarik memiliki ukuran $p \times l \times t = 16,5\text{cm} \times 14 \text{ cm} \times 0,5\text{cm}$ dan pada pengujian impak dengan ukuran $p \times l \times t = 70\text{cm} \times 70\text{cm} \times 10\text{cm}$; timbangan digital; gelas ukur 500 ml; gelas ukur 100 ml dan 10 ml; mortar dan pastle; ayakan screen 100 mesh; spatula atau skrap; sarung tangan; gerinda;

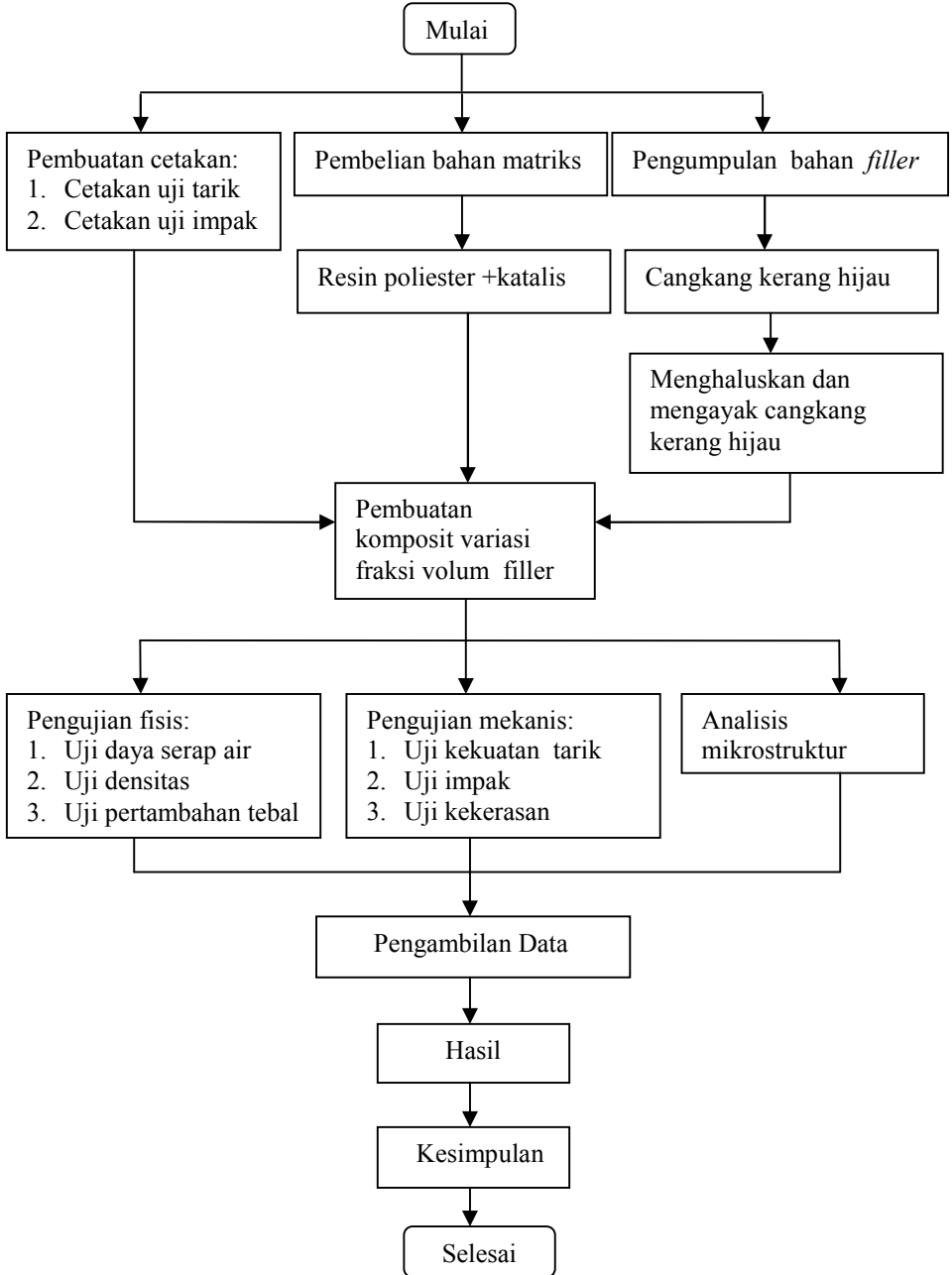
suntikan; pengaduk; mesin uji tarik dan mesin uji impak; dan mikroskop optik digital untuk analisis struktur mikro pada daerah kegagalan uji.

B. Bahan

Bahan matriks yang digunakan adalah resin poliester merek dagang Yukalac 157@BQTN-EX dengan katalis *Methyl Ethyl Keton Peroxide* (MEKP). Sedangkan bahan *fillernya* adalah cangkang kerang hijau. Larutan NaOH 5% untuk alkalisasi; *release agent* digunakan sebagai pelicin pada cetakan sehingga mempermudah melepas komposit pada cetakan yang terbuat dari kaca.

3.4 Skema Penelitian

Skema pelaksanaan penelitian mengikuti diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir skema penelitian.

3.5 Pembuatan Komposit

A. Langkah pembuatan serbuk cangkang kerang hijau

1. Cangkang kerang hijau dikumpulkan, lalu dibersihkan dari kotoran dengan cara direndam selama 6 jam dengan larutan sabun dan disikat.
2. Cangkang kerang hijau yang sudah bersih dijemur selama 1 sampai 2 jam.
3. Cangkang yang sudah kering kemudian direndam dalam larutan NaOH 5% (alkalisasi) selama 2 jam. Setelah itu dibilas dengan air sampai bersih.
4. Cangkang kerang hijau ditumbuk menggunakan mortar dan alu hingga pecah, lalu dihaluskan dengan blender listrik hingga menjadi serbuk.
5. Serbuk diayak dengan ukuran mesh 100 mesh untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan.

B. Langkah pembuatan benda uji

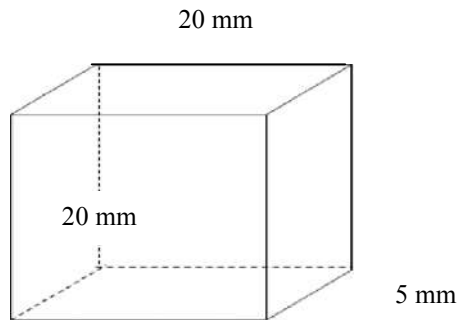
1. Cangkang kerang hijau ditimbang sesuai keperluan pengujian menggunakan variasi fraksi volum 10%, 20%, 30%, dan 40%.
2. Resin, katalis, dan serbuk cangkang kerang hijau diukur sesuai volume yang dibutuhkan.
3. Ketiga bahan dicampur dan diaduk secara merata. Usahakan jangan sampai ada gelembung atau void yang terjebak saat pengadukan.
4. Cetakan dilumasi dengan *release agent* atau *body lotion* sebagai bahan pelepasannya.
5. Adonan komposit dituang ke dalam cetakan dan ratakan menurut cetakan. Jangan ada gelembung yang

terjebak dalam adonan saat proses pengeringan karena akan menurunkan sifat mekanis.

6. Tunggu hingga kering lalu sampel dihaluskan dan siap dilakukan pengujian.

3.6 Pengujian Sifat Fisis

Untuk mengetahui sifat-sifat fisis dari suatu bahan dilakukan beberapa pengujian dengan mengacu pada standar SNI 03-2105-2006. Pada penelitian dilakukan pengujian fisis untuk menentukan nilai kerapatan, daya serap air, dan pengembangan tebal pada komposit polimer cangkang kerang hijau. Bentuk sampel uji adalah balok dengan ukuran $p \times l \times t = 20\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{ mm}$ seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bentuk spesimen uji fisis.

A. Densitas

Untuk menentukan densitas dengan nilai lebih dari 1, maka yang paling efisien menggunakan metode Bouyancy yaitu menggantikan volume air (V_c) oleh volume bahan (V_w) yang dirumuskan sebagai berikut (Serway, 2014):

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_c}{V_w} = \frac{m_c}{m_w} \rho_w = \frac{m_c}{m_c - m_{c \text{ in } w}} \rho_w \quad (1)$$

Dengan ρ_c = massa jenis sampel komposit (g/cm^3)

ρ_w = massa jenis air ($0,998 \text{ g}/\text{cm}^3$)

V_c = volume komposit (cm^3)

V_w = volume air yang digantikan komposit (cm^3)

m_c = massa sampel komposit saat kering (g)

$m_{c \text{ in } w}$ = massa komposit saat di dalam cairan (g)

m_w = massa air pada volume V_w (g)

B. Daya Serap Air

Daya serap air dihitung dengan menggunakan rumus (JIS A 5908: 2003):

$$\%m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

(2)

Dengan %m = Daya serap air (%)

m_1 = Massa sampel sebelum perendaman (g)

m_2 = Massa setelah perendaman (g)

Catatan: Daya serap air ini dihitung dari berat sampel sebelum dan sesudah perendaman di dalam air selama 24 jam.

C. Pengembangan Tebal

Pengembangan tebal dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut (BSN, 2006):

$$\%t = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan %t = Pengembangan tebal (%)

m_1 = Tebal sampel sebelum perendaman (g)

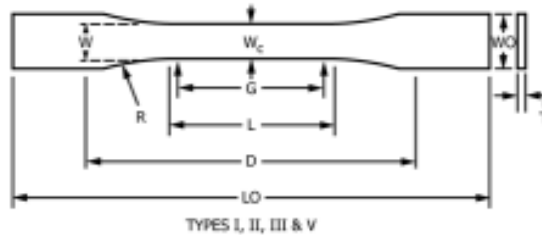
m_2 = Tebal sampel setelah perendaman (g)

Catatan: Pengembangan tebal dihitung dari tebal sampel sebelum dan sesudah perendaman di dalam air selama 24 jam.

3.7 Pengujian Sifat Mekanik

A. Uji Tarik

Dimensi dan bentuk sampel uji tarik komposit yang digunakan adalah berdasarkan standar ASTM (*American Standard Testing and Material*) D638-14 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Tabel 3.1.



Gambar 3.3 Sketsa spesimen benda uji tarik menurut ASTM D638-14.

Tabel 3.1 Dimesni specimen menurut ASTM D638-14

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Pengujian tarik dilakukan hingga sampel mengalami kegagalan uji atau terputus. Salah satu alat yang bisa digunakan untuk uji tarik adalah UTM (*Universal Tester Machine*) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.4, di mana hasil dari pengujian ini adalah gaya maksimum

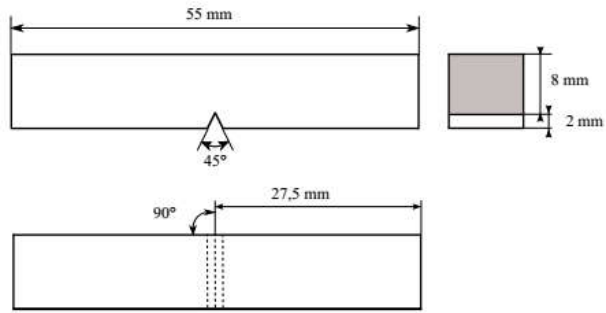
(kgf), *Tensile Stress* (kgf/mm²), dan pertambahan panjang (*Elongation*).



Gambar 3.4. Alat UTM (*Universal Tester Machine*).

B. Uji Impak

Uji impak dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya tenaga patah dan harga keuliten dari komposit yang diuji. Bentuk dan dimensi uji mengacu pada standar ASTM E23-07a seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Pengujian impak yang akan dilakukan menggunakan mesin uji impak Charpy yang dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.5 Sketsa spesimen uji impak berdasarkan ASTM E23-07a.



Gambar 3.6. Alat Uji impak Charpy.

C. Uji Kekerasan

Uji kekerasan pada sampel komposit ini menggunakan alat uji kekerasan *Shore D* Durometer. Uji kekerasan *Shore D* dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan secara makro. Menurut ASTM, uji kekerasan *shore D* menggunakan indenter berupa kerucut yang dipotong bagian atasnya (*truncated cone*) yang digerakkan oleh pegas yang telah dikalibrasi. Nilai *shore D* menunjukkan jarak penetrasi yang dikenai indenter pada permukaan bahan uji dan nilai ini juga dapat mengukur kompresi pegas oleh beban. Pembacaan nilai *shore D*

berhubungan langsung dengan modulus Young (Landel, 1994).

$$E = \frac{2600 SH}{(100 - SH)^{1.5}} \quad (4)$$

Keterangan:

E= Modulus Young (N/m²)

SH=nilai kekerasan *Shore*

3.8 Teknik Pengumpulan Data

Data yang diambil dari penelitian ini adalah data hasil pengujian fisis dan pengujian mekanis. Pengujian sifat fisis menghasilkan data massa jenis, prosentase penambahan massa dan tebal komposit setelah direndam dalam air selama 24 jam. Sedangkan pengujian sifat mekanis menghasilkan nilai kuat tarik dan keuletan komposit. Ada empat macam variasi komposisi *filler*, setiap komposisi dibuat tiga kali pengulangan pada saat pengujian. Hasil pengujian ulangan dirata-rata untuk mendapatkan nilai relatif bahan kemudian dibuat plot grafik hubungan antara fraksi volum *filler* dan nilai-nilai hasil pengujian guna menarik kesimpulan.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Dalam penelitian ini dilakukan dua pengujian, yaitu: 1) Pengujian fisis untuk mengetahui beberapa sifat fisis komposit seperti densitas, daya serap air dan pengembangan tebal. Dan 2) Pengujian mekanis yakni uji tarik dan uji impak. Uji tarik digunakan untuk mengetahui tegangan, regangan dan modulus elastisitas komposit. Sedangkan uji impak untuk mengetahui keuletan komposit berpenguat cangkang kerang hijau.

4.2. Pengujian Fisis

Pengujian fisis dilakukan untuk mengetahui beberapa sifat fisis material komposit polimer berpenguat cangkang kerang hijau yang telah dibuat. Pengujian fisis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji densitas, uji daya serap air, dan uji pengembangan tebal.

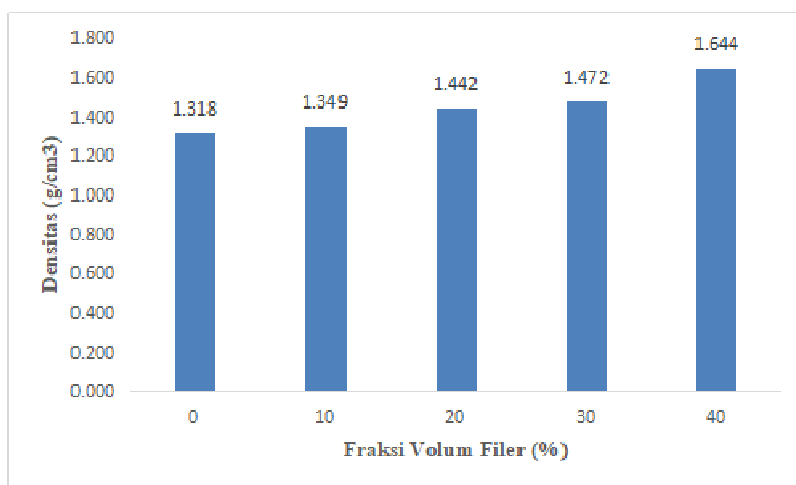
4.2.1 Pengujian Densitas Komposit

Pengujian densitas komposit dilakukan untuk mengetahui kerapatan bahan komposit yang telah dibuat. Pengujian ini menggunakan metode *bouyancy* dengan pertimbangan sampel uji dapat tenggelam di dalam air karena memiliki nilai densitas di atas nilai satu dan lebih akurat jika dibandingkan dengan menggunakan metode manual (membagi nilai pengukuran massa dengan hasil pengukuran volum menggunakan dimensi).

Tabel 4.1 Tabel Data Densitas dengan Variasi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau

No.	Fraksi volum Filler (%)	Densitas (g/cm ³)			Rata-rata (g/cm ³)	Standard Deviasi
		Ulangan				
		1	2	3		
1	0	1,317	1,321	1,316	1,318	0,002
2	10	1,347	1,357	1,342	1,349	0,006
3	20	1,444	1,432	1,451	1,442	0,008
4	30	1,482	1,464	1,471	1,472	0,007
5	40	1,647	1,643	1,642	1,644	0,002

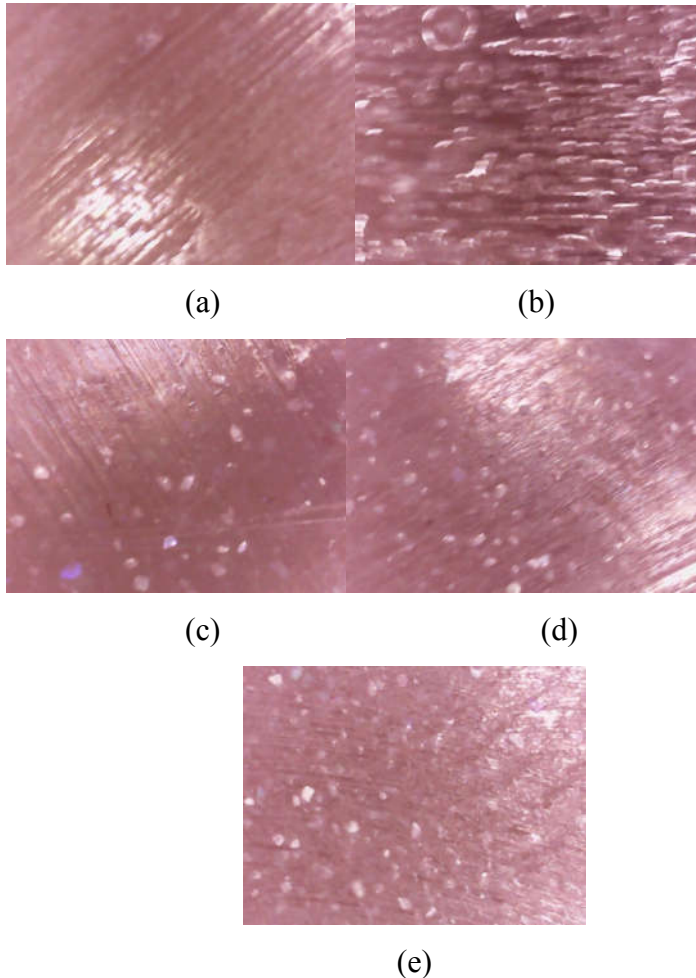
Berdasarkan data pada Tabel 4.1, selanjutnya akan dibuat grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan pengaruh variasi fraksi volum filler serbuk cangkang kerang hijau pada komposit terhadap nilai densitas relatif.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Densitas Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang Hijau dengan Variasi Fraksi Volum *Filler*.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa secara umum semakin besar nilai fraksi volum *filler* yang ditambahkan maka nilai densitasnya semakin besar. Peningkatan nilai densitas dipengaruhi oleh penambahan komposisi *filler* yang semakin

meningkat dengan nilai densitas serbuk cangkang kerang hijau lebih besar dibandingkan dengan resin poliester. Kemudian persebaran serbuk cangkang kerang hijau semakin merata dengan meningkatnya komposisi fraksi *filler* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2 yang merupakan hasil uji mikrostruktur pada sampel komposit. Pada sampel komposit dengan 0% *filler* menunjukkan nilai densitas paling rendah yaitu $1,318 \text{ g/cm}^3$ karena sampel masih murni berupa matriks saja berupa resin polister saja, belum ada penambahan material berupa cangkang kerang hijau sebagaimana terlihat pada Gambar 4.2 (a) tidak tampak adanya butir-butir serbuk cangkang kerang hijau. Sedangkan pada sampel dengan 10% *filler* (Gambar 4.2 (b)) menunjukkan adanya banyak *void* (gelembung udara yang terjebak di dalam bahan komposit saat pencampuran filler serbuk cangkang kerang hijau yang terjadi selama proses *curing*) sehingga menyebabkan nilai densitasnya juga rendah dibandingkan dengan sampel komposit yang lain. Nilai Densitas tertinggi terdapat pada sampel komposit dengan fraksi volum 40% yakni $1,644 \text{ g/cm}^3$, hal ini disebabkan karena meningkatnya filler cangkang yang diberikan juga persebaran serbuk pada sampel tersebut lebih merata (lihat Gambar 4.2 (e)).



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Mikrostruktur Sampel Komposit dengan Variasi Fraksi Volum Filler (a) 0% , (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, dan (e) 40%.

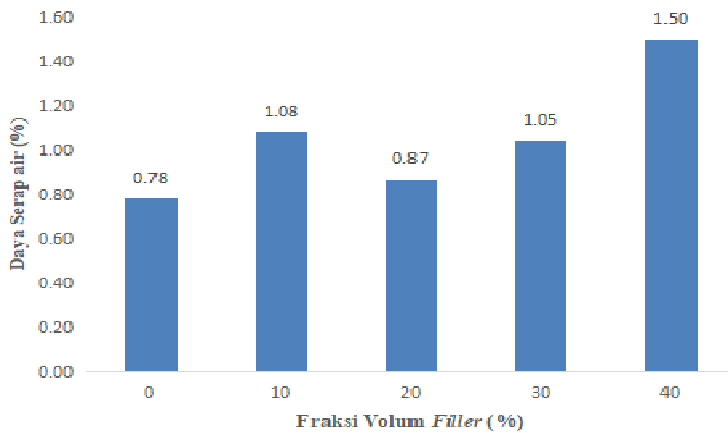
4.2.2 Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengetahui penambahan massa setelah perlakuan perndaman sampel uji selama 24 jam di dalam air. Perhitungan daya serap air menggunakan Persamaan 2.3. Adapun hasil pengujian daya serap air dapat diliha pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tabel Data daya Serap Air dengan Variasi Fraksi Volum *Filler* Cangkang Kerang Hijau.

No.	Fraksi volum <i>Filler</i> (%)	Daya Serap Air (%)			Rata-rata (%)	Standard Deviasi
		Ulangan				
		1	2	3		
1	0	0,79	0,78	0,78	0,78	0,006
2	10	1,59	0,86	0,79	1,08	0,443
3	20	0,88	0,86	0,86	0,87	0,012
4	30	1,02	1,01	1,11	1,05	0,055
5	40	0,88	1,83	1,79	1,50	0,537

Berdasarkan Tabel 4.2, selanjutnya dibuat grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan pengaruh variasi frasi volum filler pada komposit terhadap nilai prosentse daya serap air.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Persentase Daya Serap Air terhadap Komposisi *Filler* Serbuk Cangkang Kerang Hijau

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa daya serap air mengalami peningkatan pada fraksi volum *filler* 10%, 30% dan 40%. Hal ini disebabkan adanya pratikel CaCO_3 pada serbuk cangkang kerang hijau yang bersifat hidrofilik di mana

partikel tersebut dapat larut dalam air (Fuerstenau, 2003). Matriks yang memiliki sifat hidrofilik mampu meningkatkan nilai daya serap mm air dikarenakan terbentuknya luas penyerapan air yang luas pada celah yang terbentuk. Semakin besar partikel yang ditambahkan maka semakin besar pula daya serap air pada komposit tersebut. Sedangkan pada fraksi volum *filler* 20% daya serap air mengalami penurunan dikarenakan keberadaan pori-pori yang terbentuk akibat persebaran *filler* yang belum merata sehingga meninggalkan daerah void yang besar. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 (c), bulatan-bulatan warna putih (partikel cangkang) hanya terkonsentrasi di daerah tertentu.

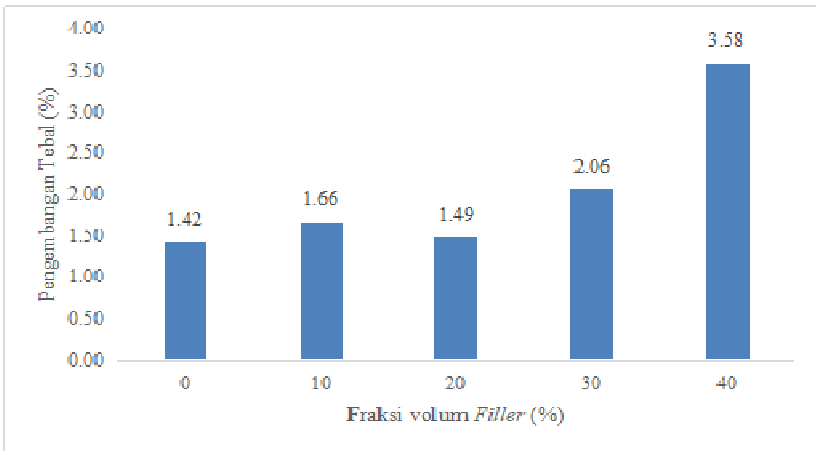
4.2.3 Pengujian Pengembangan Tebal

Pengujian pengembangan tebal dilakukan untuk mengetahui prosentase pertambahan tebal pada sampel uji setelah direndam selama 24 jam di dalam air. Perhitungan pertambahan tebal menggunakan persamaan 2.4 dan pengukuran diulang sebanyak 3 kali pada sampel uji. Data hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Persentase Pengembangan Tebal dengan Variasi Frasi Volum *Filler* Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

No.	Fraksi Volum <i>Filler</i> (%)	Pengembangan Tebal (%)			Rata-rata (%)	Standart Deviasi
		Ulangan				
		1	2	3		
1	0	1,43	2,38	0,46	1,42	0,960
2	10	1,69	1,65	1,65	1,66	0,023
3	20	1,08	1,69	1,69	1,49	0,352
4	30	2,48	2,48	1,23	2,06	0,722
5	40	2,39	4,17	4,17	3,58	1,028

Berdasarkan Tabe 4.3, selanjutnya akan dibuat grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan pengaruh variasi fraksi volum *filler* serbuk cangkang kerang hijau pada komposit polimer terhadap nilai persentase pengembangan tebal.



Gambar 4.4 Hubungan Persentase Pengembangan Tebal terhadap Faksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa sampel komposit mengalami peningkatan persentase pengembangan tebal pada fraksi volum 10%, 30% dan 40%. Peningkatan nilai pengembangan tebal dipengaruhi oleh persentase daya serap air yang juga meningkat. Peningkatan pengembangan tebal juga dipengaruhi oleh peningkatan jumlah serbuk pada sampel dimana keberadaan CaCO_3 pada serbuk cangkang kerang hijau yang memiliki daerah kontak dengan air paling luas pada fraksi volum tertinggi. Penurunan nilai pengembangan tebal terjadi pada fraksi volum *filler* 20%, hal ini dikarenakan penurunan persentase nilai daya serap juga menurun pada fraksi volum ini dan juga dipengaruhi oleh keberaaan persentase mariks poliester yang hanya berfungsi sebagai perekat.

4.3 Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk mengetahui beberapa sifat mekanik material saat dikenai pembebanan. Pengujian mekanik pada penelitian ini dilakukan tiga jenis pengujian, yaitu uji tarik dan uji impak

4.3.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sampel uji terhadap pembebanan tarik. Pengujian tarik pada sampel uji komposit dilakukan pada sampel uji tanpa bahan filler/penguat dan sampel uji komposit dengan variasi fraksi volum filler partikel 10%, 20%, 30% dan 40% dengan orientasi partikel disusun secara acak. Pada pengujian tarik diperoleh data beban/gaya tarik, kekuatan tarik/tegangan, regangan dan elongasi/pertambahan panjang. Dari data tersebut dapat dihitung nilai modulus elastisitas dari masing-masing sampel uji komposit dari setiap variasi fraksi volum *filler*.

Data hasil pengujian sampel uji komposit diurutkan dari sampel uji tanpa *filler* (0% fraksi volum *filler*), dilanjutkan dengan sampel uji dengan variasi fraksi volum filler 10%, 20%, 30% dan 40%. Masing-masing jenis sampel uji terdiri dari 4 sampel uji. Kemudian diambil rata-rata dari setiap fraksi volum yang akan dijadikan perbandingan dengan rerata sampel uji tanpa bahan *filler*.

Tabel 4.4 Data Kekuatan Tarik dan Regangan dengan Variasi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau

No.	Fraksi Volum (%)	Kekuatan Tarik (MPa)				Rata-rata (MPa)	Regangan (%)				Rata-rata
		Sampel Uji					Sampel Uji				
		1	2	3	4		1	2	3	4	
1	0	31,117	34,432	34,599	38,401	34,64	7,40	9,31	5,50	7,80	7,50
2	10	30,527	31,695	33,203	35,815	32,81	7,41	6,33	8,54	10,02	8,07
3	20	31,558	31,886	36,486	39,483	34,85	7,13	8,01	9,98	9,46	8,64
4	30	36,856	37,155	37,462	39,897	37,84	7,91	8,22	9,05	8,87	8,51
5	40	38,202	38,315	40,855	41,722	39,77	5,48	9,64	7,42	9,35	7,97

Berdasarkan data pada Tabel 4.4, kemudian akan dihitung nilai Modulus Elastisitas sampel uji komposit menggunakan persamaan (1.3) sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

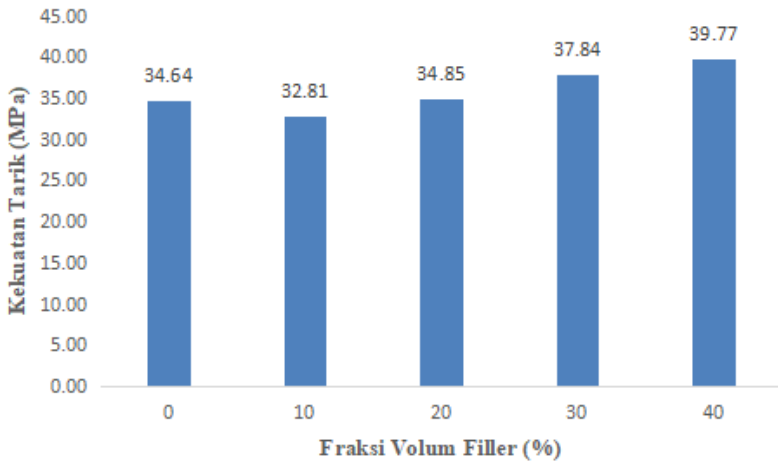
Dari perhitungan Modulus Elastisitas akan diperoleh data pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai Modulus Elastisitas terhadap Variasi Fraksi Volum *Filler* Serbuk Cangkang Kerang Hijau

No.	Fraksi Volum (%)	Modulus Elastisitas (MPa)				Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi
		Sampel Uji					
		1	2	3	4		
1	0	4,205	3,697	6,291	4,923	4,779	1,126
2	10	4,119	5,010	3,887	3,576	4,148	0,616
3	20	4,425	3,981	3,657	4,175	4,060	0,324
4	30	4,661	4,520	4,141	4,497	4,455	0,221
5	40	6,966	3,974	5,505	4,464	5,227	1,323

Berdasarkan data Tabel 4.4 dan 4.5, selanjutnya akan dibuat grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan pengaruh variasi fraksi volum *filler* serbuk cangkang kerang hijau pada

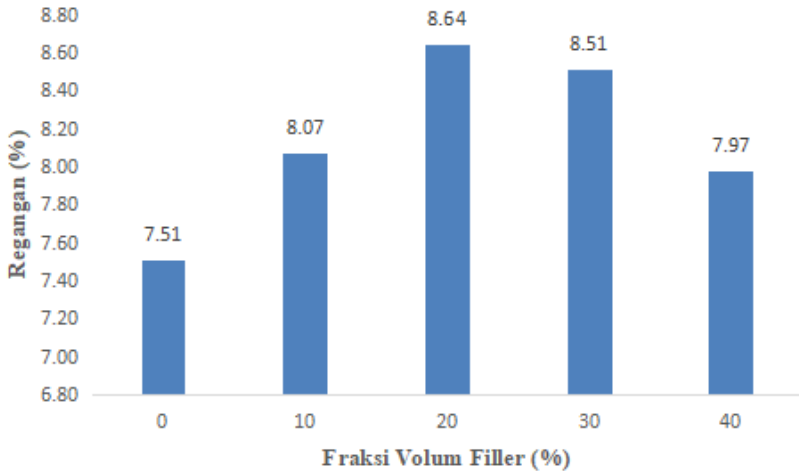
komposit terhadap nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Nilai Kekuatan Tarik Komposit terhadap Variasi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa secara umum peningkatan nilai kekuatan tarik dipengaruhi oleh penambahan komposisi *filler* di mana kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sampel uji dengan fraksi volum filler 40% sebesar 39,774 MPa. Peningkatan kekuatan tarik tersebut disebabkan oleh persebaran dan jarak antar partikel serbuk cangkang kerang hijau pada komposit semakin dekat akibat pertambahan komposisi *filler* pada sampel komposit sebagaimana yang terdapat pada Gambar 4.2(e). Kekuatan tarik terendah terdapat pada sampel uji komposit dengan fraksi volum *filler* 10% yaitu sebesar 32,810 MPa. Nilai kekuatan tarik pada sampel uji dengan fraksi volum 10% lebih rendah dari pada sampel uji dengan fraksi volum 0% (resin murni). Hal ini disebabkan adanya *void* pada sampel uji seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 (b), dimana terdapat daerah gelembung-gelembung udara dengan ukuran yang lebih besar yang terjebak saat proses pembuatan sampel uji.

Keberadaan void ini sangat mempengaruhi sifat mekanik dari suatu material menjadi lebih rendah.



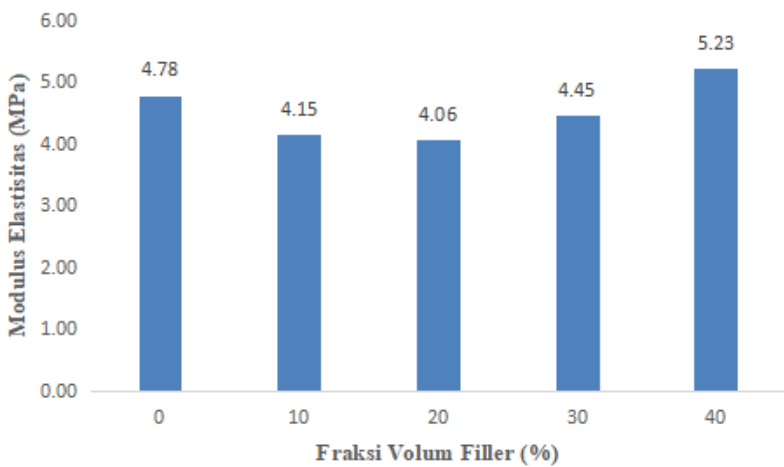
Gambar 4.6 Hubungan Nilai Regangan terhadap Variasi Fraksi volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai regangan mengalami peningkatan pada sampel uji dengan fraksi volum 10% dan 20%, yakni masing-masing sebesar 8,07% dan 8,64%. Kemudian mengalami penurunan pada sampel uji dengan fraksi volum 30% dan 40% yakni masing-masing sebesar 8,51% dan 7,97%. Namun secara keseluruhan, nilai regangan sampel uji komposit lebih besar dari sampel uji resin murni (tanpa *filler*). Penurunan nilai regangan dipengaruhi oleh penambahan komposisi serbuk cangkang kerang hijau. Hal ini disebabkan sifat *filler* yang sangat getas dan sulit untuk menghantarkan beban pada matriks sehingga memungkinkan untuk mengalami deformasi sebelum daerah plastis. Gambar 4.7 menunjukkan bentuk patahan dari sampel uji 40% di mana

mengalami patah getas yang memiliki ciri pada patahannya tidak terdapat *cup* dan *cone*. Pada patah getas tidak terjadi adanya *necking* sehingga spesimen langsung patah jika diberi beban melebihi *yield strenght*-nya. Sedangkan pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 10% dan 20% mengalami peningkatan nilai regangan dikarenakan perpatahan matriks terjadi lebih dahulu dan setelah itu *filler* baru bekerja untuk menahan pembebanan hingga mengalami kegagalan.



Gambar 4.7 Bentuk patahan pada sampel uji tarik dengan fraksi volum *filler* 40%.



Gambar 4.8 Hubungan Nilai Modulus Elastisitas terhadap Variasi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas mengalami penurunan secara berturut-turut pada

fraksi volum filler 20%, 10% dan 30% masing-masing sebesar 4,06 MPa; 4,15 MPa; dan 4,45 MPa dan mengalami kenaikan pada fraksi volum filler 40% sebesar 5,23 MPa. Penurunan nilai modulus elastisitas disebabkan keberadaan daerah persebaran matriks yang rendah akibat peningkatan komposisi *filler*. Gambar 4.6 menunjukkan nilai regangan tertinggi pada sampel dengan fraksi volum *filler* 20% dan terendah pada sampel 0% *filler*, yang mana sangat berpengaruh pada nilai modulus elastisitas. Sedangkan peningkatan nilai modulus pada fraksi volum *filler* 40% disebabkan oleh persebaran *filler* yang lebih merata pada matriks.

4.3.2 Pengujian Impak

Pengujian Impak dilakukan untuk mengetahui sifat keuletan maupun kegetasan dari suatu sampel uji. Pengujian dilakukan pada sampel uji tanpa bahan filler dan sampel uji dengan variasi fraksi volum filler 10%, 20%, 30% dan 40%. Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai sudut α dan β yang kemudian di hitung menggunakan rumus 2.1 dan 2.2 untuk memperoleh nilai Tenaga Patah dan Harga Impak (Keuletan) yang dimiliki oleh masing-masing sampel uji. Metode yang digunakan dalam pengujian Impak ini adalah metode Charpy.

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Impak dan Dimensi pada Sampel Uji dengan Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

No.	Fraksi Volum Filler (%)	Sudut α			Sudut β			Luas Penampang (mm ²)		
		Sampel Uji			Sampel Uji			Sampel Uji		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	10	10	10	6	6	6	66,4	64,4	66,3
2	10	10	10	10	8	7	6	54,9	50,3	55,6
3	20	10	10	10	8	8	6	46,5	44,5	48,3
4	30	10	10	10	8	8	7	43,8	43,4	54,3
5	40	10	10	10	8	8	8	46,2	48,2	41,7

Berdasarkan data pada Tabel 4.6, selanjutnya akan dihitung nilai tenaga patah menggunakan Persamaan 2.4 dan nilai Harga Impak (Keuletan) menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$E = m.g.l \cos(\beta - \alpha)$$

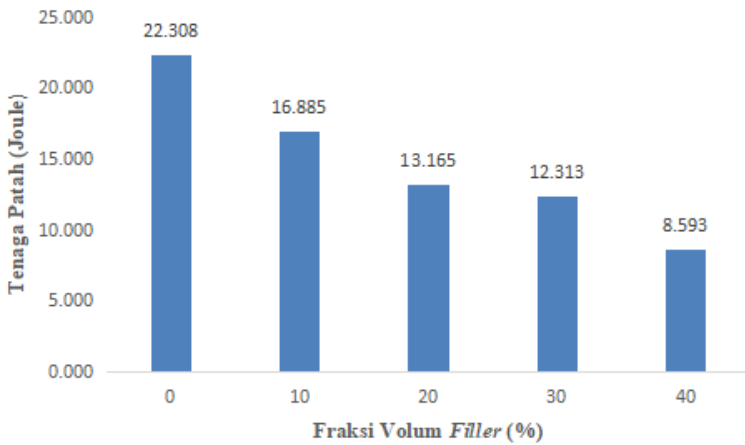
$$HI = \frac{E}{A}$$

Di mana massa dari pendulum impak adalah 2 kg dan panjang dari lengan pendulum adalah 0,62 cm. Dari perhitungan tersebut akan diperoleh data yang tertuang pada Tabel 4.7.

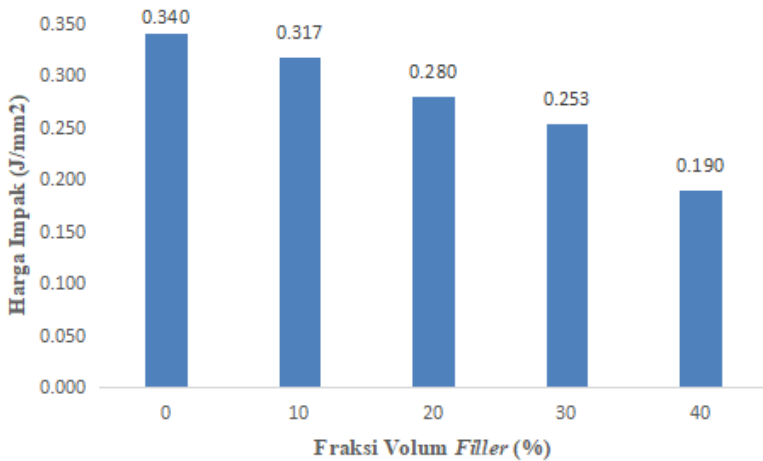
Tabel 4.7 Data Tenaga patah dan Nilai Harga Impak Sampel Uji dengan Variasi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

No.	Fraksi Volum Filler (%)	Tenaga Patah (Joule)			Rata-rata (Joule)	Standar Deviasi	Harga Impak (J/mm ²)			Rata-rata (J/mm ²)	Standar Deviasi
		Sampel Uji					Sampel Uji				
		1	2	3			1	2	3		
1	0	22,308	22,308	22,308	22,308	0,000	0,336	0,346	0,336	0,340	0,006
2	10	8,593	19,753	22,308	16,885	7,293	0,157	0,393	0,401	0,317	0,139
3	20	8,593	8,593	22,308	13,165	7,918	0,185	0,193	0,462	0,280	0,158
4	30	8,593	8,593	19,753	12,313	6,443	0,196	0,198	0,364	0,253	0,096
5	40	8,593	8,593	8,593	8,593	0,000	0,186	0,178	0,206	0,190	0,014

Berdasarkan data Tabel 4.7, selanjutnya akan dibuat grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan pengaruh variasi fraksi volum *filler* serbuk cangkang kerang hijau pada komposit terhadap nilai Tenaga Patah dan Harga Impak/Keuletan sampel uji komposit.



Gambar 4.9 Hubungan Nilai Tegangan Paah terhadap Varisi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau



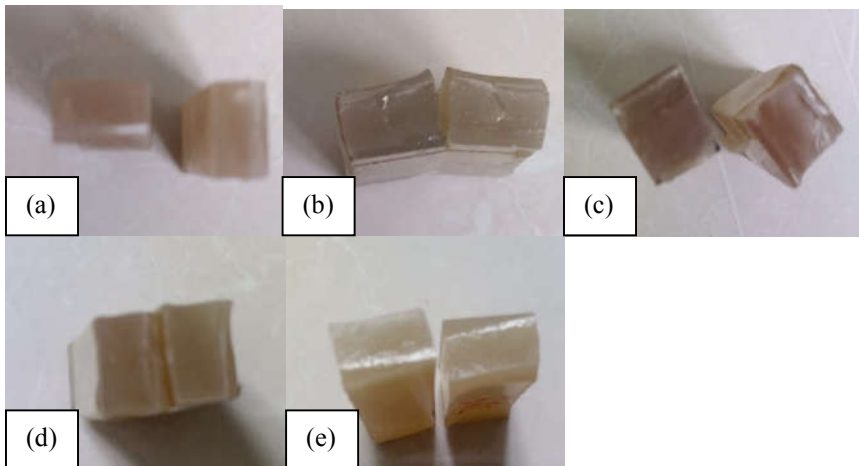
Gambar 4.10 Hubungan Nilai Harga Impak/Keuletan terhadap Varisi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa secara umum tenaga patah sampel uji dengan *filler* memiliki nilai lebih kecil dari pada sampel uji tanpa bahan *filler* (sampel resin murni), di mana nilai rata-rata tenaga patah yang dimiliki sampel uji resin adalah 22,308 J, jauh lebih besar dari pada nilai rata-rata yang dimiliki sampel uji dengan fraksi volum *filler* 40% yaitu 8,593 J. Kemudian nilai rata-rata tenaga patah pada fraksi volum 10%, 20% dan 30% masing-masing adalah 16,885 J; 13,165 J dan 12,313 J. Komposisi filler pada sampel uji sangat berpengaruh pada nilai tenaga patah, dimana semakin besar komposisi filler pada sampel uji maka nilai tenaga patahnya semakin kecil.

Gambar 4.10 dapat dapat menunjukkan adanya penurunan harga keuletan sampel uji ketika fraksi volum *filler* ditambahkan. Harga keuletan pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 10% adalah 0,317 J/mm², 20% adalah 0,280 J/mm², 30% adalah 0,253J/mm², dan 40% adalah 0,190 J/mm². Sedangkan untuk sampel uji resin memiliki harga keuletan tertinggi yaitu 0,340 J/mm². Dengan demikian, harga keuletan bahan pada sampel tanpa *filler* (resin murni) merupakan sampel uji yang memiliki harga keuletan terbaik dibandingkan dengan sampel uji lain yang diberi tambahan *filler*.

Dari hasil pengujian impak dan pengolahan data yang dilakukan, ditemukan bahwa dengan penambahan fraksi volum *filler* pada sampel uji dengan matriks resin poliester tidak memiliki pengaruh yang signifikan dan memperkuat bahan komposit. Dari data mengenai uji impak di atas juga dapat diasumsikan bahwa dengan bertambahnya variasi fraksi

volum *filler* pada komposit dapat menyebabkan penurunan nilai tenaga patah dan nilai harga keuletan bahan seperti yang terlihat pada Gambar 4.11, di mana permukaan patahannya adalah mengkilap yang merupakan ciri dari sampel uji impak yang memiliki bentuk patahan getas (tidak ulet). Penambahan komposisi filler serbuk cangkang kerang hijau menyebabkan sampel uji pada komposisi semakin getas (*brittel*) karena dalam serbuk cangkang kerang hijau terdapat CaCO_3 yang memiliki sifat getas.



Gambar 4.11 Bentuk Patahan Sampel Uji Impak dengan Variasi Fraksi Volum Filler (a) 0% (Resin), (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, dan (e) 40%.

4.3.3 Pengujian Kekerasan

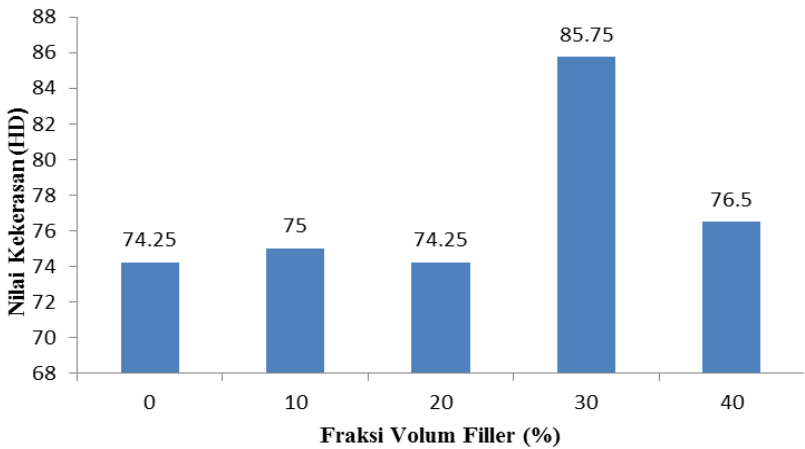
Pembacaan nilai *shore D* pada alat uji kekerasan *shore D* Durometer berhubungan langsung dengan modulus Young (Landel, 1994). Modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan (stress) dan regangan (strain) dari hasil uji tarik, di mana di sini tegangannya adalah kekuatan tarik bahan

tersebut. Dari persamaan (4), diketahui bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan nilai kekuatan tarik, artinya jika kekuatan tarik suatu bahan komposit meningkat maka nilai kekerasannya juga meningkat dan sebaliknya jika kekuatan tariknya menurun maka nilai kekerasannya juga menurun.

Tabel 4.8 Data Nilai Kekerasan *Shore D* Sampel Uji dengan Variasi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau.

No	Fraksi Volum Filler (%)	Kekerasan <i>Shore D</i> (HD)		Rata-rata (HD)	Standar Deviasi
		1	2		
1	0	74.5	74	74.25	0.354
2	10	75.5	74.5	75	0.707
3	20	74.5	74	74.25	0.354
4	30	86	85.5	85.75	0.354
5	40	76.5	76.5	76.5	0.000

Data hasil uji kekerasan ditunjukkan pada Tabel 4.8. Sedangkan pengaruh penambahan *filler* serbuk cangkang kerang hijau pada matriks polimer poliester dapat dilihat pada Gambar 4.12. Berdasarkan Tabel 4.8 dan Gambar 4.12, secara umum terlihat terjadi kenaikan nilai kekerasan yang fluktuatif seiring penambahan fraksi volum *filler* serbuk cangkang kerang hijau kecuali pada fraksi volum filler 20% nilai kekerasannya sama dengan nilai kekerasan pada sampel uji 0% *filler*. Dari Tabel 4.8, terlihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sampel dengan fraksi volum *filler* tertinggi 30% *filler* yaitu sebesar 85,75 HD dan yang terendah adalah komposit dengan fraksi volum 20% yaitu sebesar 74.25.



Gambar 4.12 Hubungan Nilai Kekerasan sampel terhadap Varisi Fraksi Volum Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau

4.4 Pembahasan

Hasil pengujian fisis dari penelitian yang telah dilakukan dengan memanfaatkan serbuk cangkang kerang hijau sebagai *filler* pada matriks poliester didapatkan nilai densitas antara 1,349-1,644 g/cm³ dengan densitas tertinggi pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 40% dan densitas terendah pada sampel uji 10% fraksi volum *filler*; daya serap air antara 0,87-1,50% di mana daya serap air tertinggi juga pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 40% dan terendah pada sampel uji 20% fraksi volum *filler*; dan persentase pengembangan tebal antara 1,49-3,58% di mana persentase pengembangan tebal tertinggi terdapat pada sampel uji dengan fraksi volum 40% dan nilai terendah terdapat pada sampel uji 20% fraksi volum *filler*. Kemudian hasil pengujian mekanis didapatkan nilai kekuatan tarik antara 32,81-39,77 MPa dengan regangan antara 7,97-8,6% di mana kekuatan tarik tertinggi terdapat ada sampel uji dengan fraksi volum filler

40% dan terendah pada sampel uji 10% fraksi volum *filler*; dan kekuatan impak (keuletan) antara 0,190-0,317 J/mm² di mana nilai harga impak tertinggi terdapat pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 10% dan terendah pada 40% fraksi volum *filler*.

Menurut standar papan partikel (BSN, 2006) nilai fisis yang disyaratkan untuk uji densitas, nilainya lebih rendah dari pada yang didapatkan saat pengujian sehingga komposit untuk papan partikel yang telah dibuat memiliki densitas lebih tinggi dari papan partikel yang berstandar SNI. Nilai densitas yang diperoleh memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada nilai densitas poliester pada Tabel 4.1, yang menunjukkan adanya peningkatan nilai densitas akibat penambahan serbuk cangkang kerang hijau yang memiliki densitas lebih besar dari pada resin poliester. Nilai densitas komposit sebagai papan partikel yang dihasilkan adalah 1,349-1,644 g/cm³ yang termasuk dalam kategori papan komposit dengan densitas yang tinggi (Maloney, 2003 dalam Iswanto, 2005).

Pengujian daya serap air tidak disyaratkan pada standar apapun partikel (BSN, 2006). Nilai daya serap air yang didapatkan pada pengujian sampel sangat kecil jika dibandingkan dengan sampel komposit bahan serat alami, seperti pada komposit serat bambu yang memiliki daya serap serap air sebesar 56,23% sampai 257,65% (Hakim, 2005). Komposit polimer yang telah dibuat tahan penyerapan air walaupun pada kondisi lembab karena bahan utamanya adalah polimer. Nilai daya serap air pada komposit ini hampir sama dengan sampel uji komposit yang *fillernya* berbasis serbuk

cangkang kerang simping, yaitu didapatkan nilai daya serapnya hingga 5% (Mufidun, 2016).

Hasil pengujian pengembangan tebal sampel uji komposit didapatkan nilai yang lebih rendah dari persyaratab maksimal yaitu 12% (BSN, 2006) yang berarti bahwa nilai pengembangan tebal tidak terpengaruh secara signifikan terhadap penyerapan air. Jika dibandingkan dengan sampel uji resin poliester, didapatkan nilai dua kali lipat dari nilai fraksi volum terendah yang diakibatkan terbentuknya pori-pori yang lebih besar.

Hasil pengujian tarik didapatkan nilai kekuatan tarik maksimal sebesar 39,77 MPa, nilainya lebih tinggi dari persyaratan maksimal yang ditetapkan, yaitu 0,304 MPa (BSN, 2006). Jika dibandingkan dengan sampel uji resin poliester, hasil uji tarik bahan komposit mengalami kenaikan dengan bertambahnya komposisi *filler* kecuali pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 10% mengalami penurunan kekuatan tariknya disebabkan oleh adanya void (gelembung udara) pada sampel uji saat proses pencampuran.

Nilai harga keuletan maksimal dari hasil pengujian dampak adalah 0,317 J/mm² sedikit lebih rendah dari nilai keuletan pada sampel uji resin poliester yakni 0,340 J/mm², akan tetapi saat komposisi ditambahkan sampai 40% fraksi volum nilai dampak menjadi jauh lebih kecil dari sampel uji resin poliester. Hal ini dapat diasumsikan bahwa bertambahnya variasi fraksi volum *filler* pada komposit dapat menyebabkan penurunan nilai harga keuletan bahan komposit.

Berdasarkan hubungan antara nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik yang berbanding lurus, hal ini jelas menunjukkan bahwa dengan menurunnya nilai kekuatan tarik maka nilai kekerasannya pun juga menurun. Nilai kekerasan komposit polimer dengan fraksi volum *filler* 30% lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan komposit pada faksi volum *filler* 40% disebabkan distribusi serbuk cangkang yang tidak homogen. Seperti pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 40%, serbuk cangkang banyak terdapat di bagian tengah sampel uji saja sedangkan dalam pengujian kekerasan shoe D beban yang ditransfer melalui identer dikenakan pada bagian permukaan uji, sehingga identer hanya mengenai matriks polimernya saja. Dengan penambahan serbuk cangkang kerang hijau pada matriks polimer memungkinkan serbuk cangkang lebih mengisi bagian dari matriks sampai lebih dekat ke permukaan bahan komposit, sehingga identer tidak lagi mengenai matriks saja tetapi juga pada fillernya yang berupa serbuk cangkang kerang hijau.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini masih lebih baik jika dibandingkan dengan hasil penelitian komposit polimer berbasis cangkang kerang simping (Mufidun, 2016), kerang darah (Saputra, 2017), dan cangkang kepiting (Sumarauw, 2017) jika dilihat dari kekuatan tariknya. Perbandingan hasil kekuatan tarik dengan ukuran partikel sama 100 mesh dan faksi volum *filler* 20% dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Komposit Berbasis Cangkang Kerang dengan Jenis cangkang yang berbeda.

No.	Jenis Filler	Bahan Matriks	Kekuatan Tarik (MPa)
1	Cangkang kerang Simping	Resin Poliester	1,223
2	Cangkang kerang darah	Resin Poliester	12,52
3	Cangkang kepiting	Resin Poliester	12,35
4	Cangkang kerang hijau	Resin Poliester	34,85

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan tentang sifat fisis dan mekanis komposit polimer berpenguat serbuk cangkang kerang hijau, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Nilai densitas komposit polimer berpenguat serbuk cangkang kerang hijau berkisar antara 1,349-1,644 g/cm³ tergolong jenis papan komposit dengan densitas tinggi yang dipengaruhi oleh penambahan komposisi *filler*. Persentase daya serap air antara 0,87-1,50% menunjukkan ketahanan terhadap penyerapan air; dan pengembangan tebal antara 1,49-3,58% sesuai dengan standar SNI. Peningkatan densitas, daya serap air dan pengembangan tebal dipengaruhi oleh fraksi volum *filler* cangkang kerang hijau semakin besar.
2. Kekuatan tarik diperoleh nilai antara 32,81-39,77 MPa di mana kekuatan tarik tertinggi terdapat ada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 40% dan terendah pada sampel uji 10% fraksi volum *filler*; dan kekuatan impak (keuletan) antara 0,190-0,317 J/mm² di mana nilai harga impak tertinggi terdapat pada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 10% dan terendah pada 40% fraksi volum *filler*. Kemudian kekerasan sampel diperoleh nilai antara 74,25-85,75 HD di mana nilai kekerasan tertinggi terdapat ada sampel uji dengan fraksi volum *filler* 30% dan terendah pada sampel uji 20% fraksi volum *filler*. Peningkatan nilai kekuatan tarik tarik dipengaruhi oleh penambahan komposisi *filler* yang juga semakin besar. Sebaliknya keuletan/harga impak menurun

seiring bertambahnya *filler* yang diberikan. Kemudian nilai kersan komposit mengalami kenaikan yang fluktuatif disebabkan distribusi *filler* serbuk cangkang yang tidak merata.

3. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur, semakin besar komposisi *filler* yang ditambahkan pada matriks dapat mengurangi ukuran *void* yang terbentuk pada komposit yang telah dibuat, dapat diartikan persebaran *filler* semakin merata.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan perlu adanya penelitian lanjutan dalam upaya pencapaian hasil yang lebih baik, antara lain:

1. Proses pembuatan sampel uji sebaiknya menggunakan metode *vacum bag* agar gelembung udara yang terjadi mampu diminimalisir.
2. Pembuatan sampel uji impak disesuaikan dengan standar ASTM agar diperoleh nilai harga impak yang valid.
3. Penambahan variasi jenis *filler* berupa serat E-glass yang dipadukan dengan serbuk cangkang kerang hijau dengan ukuran yang lebih halus.
4. Sebaiknya pengamatan uji mikrostruktur menggunakan alat SEM agar ikatan antar muka matriks dan *filler* dapat terlihat lebih jelas dan fenomena patahan juga dapat diamati dengan lebih jelas.

DAFTAR REFERENSI

- Akova E. .2013. *Development of Natural Fiber Reinforced Polymer Composite* :
Transfer inovácií 25/201.
- Annual Hand Book ASTM D-638-14. 2002. *Standard Test for Tensile Propertis of Plastics*. Philadelphia, PA: American Society for Testing ang Material.
- Annual Hand Book ASTM E23-07a. 2002. *Standard Test for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1*.
- BSN. SNI 03-2105-2006 Papan Partikel. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;
2006.
- Callister, William D. dan David G. Rethwisch. 2014. *Material Science and Engineering: An Introduction*. New York: Willey & Sons.
- Cappenberg, H.A.W. 2008. *Beberapa Aspek Biologi Kerang Hijau Perna viridis Linnaeus 1758*. Jurnal Oseana, 2008; 23(1): 33 – 40.
- Danid, 2010. *Pengujian Impak dan Fenomena Perpatahan*.
<https://danidwikw.wordpress.com/2010/12/17/pengujian-impak-dan-fenomena-perpatahan/> . Diakses pada tanggal 23 Juli 2019.
- Gosling, E. 2003. *Bivalve Molluscs Biology, Ecology and Culture*. USA: Blackwell Publishing. Pp 7 – 11.
- Hakim, Lutfi dan fauzi Febrianto. 2005. *Karakteristik Fisis Papan Komposit dari Serat Batang Pisang (Musa sp) dengan Perlakuan Alkali*. Peronema Forestry Science Journal vol.1 (1), hal. 21-26.
- Iswanto, A.H. 2005. *Upaya Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Sengon dan Limbah Platik Pplyprophylena Sebagai Langkah Alternatif untuk Mengatasi Kekurangan Kayu*

- Sebagai Bahan Bangunan*. Jurnal Komunikasi Penelitian 17(3): 24-27.
- Justus Sakti Raya. 2015. *YUKALAC Unsaturated Polyester Resin*. https://www.justus.co.id/?category/2/yukalac_unsaturated_polyester_resin/22/en. Diakses pada tanggal 25 Juli 2019.
- JIS A 5908. 2003. *Japanese Industrial Standard: Particle Board*. Jepang: Japanese Standard Association.
- Kimball, J.W. 1983. *Biologi Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Mazumdar, Sanjay K. 2001. *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. New York: CRC Press.
- Mubarak, Athaya. 2006. *Karakteristik Sifat Mekanis Material Biokomposit Unidirectional Laminae Serat Heliconia-Resin Poliester*. FMIPA. Bogor: IPB.
- Mufidun, Ahmad dan Abtokhi, A. 2016. *Pemanfaatan Filler Serbuk Cangkang Kerang Simpson (Placuna Placenta) Dan Matriks Poliester Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Papan Komposi*. Jurnal Neutrino, 2016; 9(1):1-7.
- Nielsen, Lawrence E. dan Robert F. Landel. 1994. *Mechanical Properties of Polymer and Composites*. New York: Marcel Dekker.
- Nurmaulita, 2010. *Studi Analisis Karakteristik Polyester dan Serat Sabut Kelapa (SSK) Sebagai Komposit Untuk Produk Fiberboards*. Medan: USU. [Dirujuk 23 Juli 2019]. Diunduh dari: <http://repository.usu.ac.id/>.
- Omar, F., Andrzej K., H.P. Fink, M. Sain. 2013. *Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composite : Macromolecular Materials and Engineering*.
- Onny. 2017. *Pengertian Material Komposit*. <http://artikel-teknologi.com/pengertian-material-komposit/>. Diakses pada 22 Juli 2019.

- Power, A.J., Walker, R.L., Payne, K and Hurley, D. 2004. *Fist Occurence of the Nonindigenous Green Mussel*. Journal of Shellfish Research. 2004; 23: 741-744.
- Saputra, Ariel T.E. 2017. *Sifat Mekanik Komposit Partikel Cangkang Kerang Darah Bermatriks Poliester Justus 108 Menggunakan Fraksi Volume 10%, 20%, 30%*. (Skripsi). Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- Schwartz, M.M. 1984. *Composite Material Handbook*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Serway, R. A. & Jewett, J. W. 2004. *Physic for Scientists and Engineers, Six Edition*. California: Thomson Brook/Cole.
- Setyono, D.E.D. 2006. *Karakteristik Biologi dan Produk Keckerangan Laut*. Jurnal Oseana. 2006; 21(1): 1 – 7.
- Sinardi, Soewondo, P., dan Notodarmojo, S. 2013. *Pembuatan, Karakterisasi dan Aplikasi Kitosan Dari Cangkang Kerang Hijau (Mytilus Viridis Linneaus) Sebagai Koagulan Penjernih Air*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7. Hal 33 – 38.
- Sirait, D. H. 2010. *Material Komposit Berbasis Polimer Menggunakan Serat Alami*. <http://dedyharianto.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 23 Juli 2019.
- Siriprom, W., Chumnanvej, N., Choeysuppaket, A and Limsuwan, P. 2012. *A Biomonitoting Study: Trace Metal Elements in Perna Viridis Shell*. Journal of Procedia Engineering. 2012; 32: 1123 - 1126.
- Soon, T.K., and Ransangan, J. 2014. *A Review of Feeding Behavior, Growth, Reproduction and Aquaculture Site Selection for Green-Lipped Mussel, Perna viridis*.

Advances in Bioscience and Biotechnology. Vol 5. Pp 462
– 469.

- Sumarauw, Hendrika F.C. 2017. *Sifat Mekanis Material Komposit Berpenguat Cangkang Kerang Kepiting Dengan Variasi Fraksi Volum Partikel 10%, 20%, Dan 30%*. (Skripsi). Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- Surdia, Tata. Saito Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Susilo, Eko. 2016. *Pengaruh Variasi Gaya Tekan pada Proses Kompaksi Kampas Rem dengan Matriks Phenolic Resin*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Vlack, L. H. 2004. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. (S. Djaprie, Penerj.) Jakarta: Erlangga.
- Vlack, L. H. (1985). *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga.
- Widodo, B. 2008. *Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random)*. Jurnal Teknologi TECHNOSCINTIA. 2008; 1 (1).
- Xu, J., & Zang, G. 2014. *Biogenic Nanospheres of Amorphous Carbonated CaMg Phosphate Within The Periostracum of The Green Mussel Perna viridis*. Journal of Stuctural Biology. 2014; 188(3): 205-212.

GLOSARIUM

1. **Alkalisasi** adalah proses penambahan suatu bahan alkalis yang sesuai dengan biji kakao dengan tujuan untuk mengatur keasaman agar mencapai tingkat yang diinginkan.
2. **Amorf** adalah jenis zat padat dengan struktur partikel yang tidak teratur.
3. **Anisotropi** adalah menyatakan situasi bagi sifat-sifat yang berbeda secara sistematis, tergantung pada arah.
4. **Berat jenis** (*specific weight*) adalah rasio berat suatu benda terhadap volumenya.
5. **Curing** adalah poses pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam resin maupun di permukaan resin dalam periode waktu tertentu.
6. **Deformasi** adalah perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena Sebuah diterapkan gaya atau perubahan suhu.
7. **Deformasi plastis** adalah kondisi suatu bahan yang tidak kembali ke bentuk semula setelah mengalami pembebanan.
8. **Densitas** adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda.
9. **Durometer** adalah instrumen yang menggunakan prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas diketahui.
10. **Elastis** adalah suatu sifat bahan dimana akan kembali ke bentuk dan ukuran awalnya ketika gaya dihilangkan.
11. **Elongasi** adalah rasio pertambahan panjang bioplastik terhadap panjang awal.
12. **Emisi** adalah zat-zat pembuangan yang beracun dan dapat membahayakan makhluk hidup serta mencemari lingkungan.
13. **Energi** adalah properti fisika dari suatu objek, dapat berpindah melalui interaksi fundamental, yang dapat diubah bentuknya namun tak dapat diciptakan maupun dimusnahkan.
14. **Epoxy** adalah sebuah polimer epoxide thermosetting yang bertambah bagus bila dicampur dengan sebuah agen katalis atau pengeras.

15. **Fiber** adalah material yang dibuat dari potongan benda-benda yang kemudian disatukan dan dibentuk menjadi jaringan memanjang (serat)
16. **Filler** adalah bahan pengisi komposit yang berfungsi sebagai penguat atau material rangka yang menyusun komposit, dapat berupa serat atau partikel/serbuk.
17. **Fluktuatif** adalah kata yang menunjukkan keadaan atau kondisi yang tidak tetap atau berubah-ubah.
18. **Fraksi volume** adalah volume suatu konstituen V_i dibagi dengan volume keseluruhan konstituen dalam campuran V sebelum tercampur.
19. **Genus** adalah salah satu bentuk pengelompokan dalam klasifikasi makhluk hidup yang secara hierarki tingkatnya di atas spesies, tetapi lebih rendah daripada familia.
20. **Grafik** adalah kumpulan data dari beberapa tabel yang disajikan atau ditampilkan dalam bentuk gambar, seperti persegi, lingkaran, tabung, segitiga, balok, kerucut dan lain-lain.
21. **Gravitasi** adalah fenomena alam di mana semua hal yang memiliki massa atau energi di alam semesta.
22. **Hand Lay-Up** adalah proses laminasi serat secara manual, dimana merupakan metode pertama dalam pembuatan komposit.
23. **Hidrofilik** adalah zat yang suka air, artinya zat ini dengan mudah larut dalam air seperti cuka.
24. **Ilmu material** adalah sebuah interdisiplin ilmu teknik yang mempelajari sifat material dan aplikasinya terhadap berbagai bidang ilmu dan teknik.
25. **Inersia** atau kelembaman adalah kecenderungan semua benda fisik untuk menolak perubahan terhadap keadaan geraknya.
26. **Isolator** adalah suatu jenis bahan atau zat yang sulit bahkan tidak bisa menghantarkan panas dengan baik dan juga tidak bisa di aliri listrik.
27. **Isotropi** adalah keseragaman atau uniformitas dalam segala arah.

28. **Kalsit** adalah sebuah mineral karbonat dan polimorf kalsium karbonat (CaCO_3) paling stabil.
29. **Karbonat** adalah suatu garam dari asam karbonat (H_2CO_3), yang dicirikan oleh adanya **ion karbonat**, suatu ion poliatomik dengan rumus CO_3^{2-} .
30. **Katalis** adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tetapi tidak mengalami perubahan dan pengurangan jumlah.
31. **Kekerasan (Hardness)** adalah daya tahan bahan terhadap goresan atau penetrasi pada permukaannya.
32. **Kekuatan impak** adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima beban secara tiba-tiba.
33. **Kekuatan tarik** (*tensile strength, ultimate tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah.
34. **Komposit** adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau bisa juga lebih dari dua bahan. Dimana sifat masing-masing bahan tersebut berbeda setiap satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit).
35. **Korosi** adalah kerusakan atau kehancuran material akibat adanya reaksi kimia di sekitar lingkungannya.
36. **Kuantitatif** adalah kata sifat yang berarti sesuatu yang dapat diukur.
37. **Litoral** adalah bagian dari laut, danau, atau sungai yang dekat dengan pantai.
38. **Matriks** adalah bahan utama dari sebuah material komposit yang akan dinaikkan mekanikal properties nya oleh bahan penguat (*reinforcement*).
39. **Mikroskop** adalah alat laboratorium yang digunakan untuk mengamati benda yang sangat kecil dan benda yang tidak tampak oleh indra penglihatan secara langsung.
40. **Mikrostruktur** adalah struktur berskala sangat kecil dari suatu material, yang didefinisikan sebagai struktur permukaan.

material yang disiapkan sebagaimana terlihat oleh mikroskop optik dengan pembesaran di atas 25x.

41. **Mineral** adalah senyawa non-organik yang tubuh Anda butuhkan agar bisa berkembang dan berfungsi dengan normal.
42. **Modulus elastisitas** adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu.
43. **Modulus lentur** (*flexural modulus*) adalah properti intensif yang dihitung sebagai rasio tegangan terhadap regangan dalam deformasi lentur, atau kecenderungan material untuk menahan lentur.
44. **Modulus Young** adalah ukuran kekakuan suatu bahan elastis yang merupakan ciri dari suatu bahan.
45. **Organisme** adalah setiap entitas individual yang mampu menjalankan fungsi-fungsi kehidupan.
46. **Partikel** adalah objek terlokalisasi kecil yang dapat memiliki beberapa sifat fisik atau kimia seperti volume atau massa.
47. **Periostrakum** adalah lapisan terluar dari kitin yang berfungsi sebagai pelindung.
48. **Peroksida** adalah kelompok senyawa yang memiliki ikatan tunggal oksigen-oksigen.
49. **pH** (*Power of Hydrogen*) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasahan yang dimiliki oleh suatu larutan.
50. **Polimer** adalah rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer.
51. **Poliester** adalah suatu kategori polimer yang mengandung gugus fungsional ester dalam rantai utamanya.
52. **Protein** adalah salah satu zat gizi makro yang terbentuk dari beberapa unsur yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N).
53. **Regangan (Strain)** adalah perbandingan antara pertambahan panjang L terhadap panjang mula-mula (L_0). Regangan dinotasikan dengan e dan tidak mempunyai satuan.

54. **Resin** adalah eksudat (getah) yang dikeluarkan oleh banyak jenis tumbuhan, terutama oleh jenis-jenis pohon runjung (konifer).
55. **Senyawa** adalah zat kimia murni yang terdiri dari dua atau beberapa unsur yang dapat dipecah-pecah lagi menjadi unsur-unsur pembentuknya dengan reaksi kimia tersebut.
56. **Serat (*fiber*)** adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh.
57. **Sifat fisis** adalah sifat yang berhubungan dengan perubahan fisis zat itu. Sifat fisis dapat digunakan untuk menerangkan penampilan sebuah benda
58. **Sifat mekanik (*Mechanical Properties*)** adalah sifat-sifat dari bahan yang berkaitan dengan kelakuan (*behavior*) terhadap pembebanan mekanik pada bahan.
59. **Tegangan (*stress*)** adalah perbandingan antara gaya tarik yang bekerja terhadap luas penampang benda. Tegangan dinotasikan dengan (σ), satuannya Nm^{-2} .
60. **Uji impak** adalah pengujian ketahanan terhadap beban kejut.
61. **Uji puntir (torsion test)** adalah salah satu pengujian merusak yang mengakibatkan suatu material mengalami patahan.
62. **Uji tarik** adalah jenis pengujian yang dilakukan dengan melakukan penarikan terhadap suatu bahan sampai bahan tersebut putus atau patah.
63. **Uji tekan** merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui perilaku dan sifat mekanik suatu bahan saat pembebanan tekan secara aksial.
64. **Void** adalah gelembung-gelembung udara dengan ukuran yang lebih besar yang terjebak saat proses pembuatan sampel uji.
65. **Yield Strength (Kekuatan Luluh)** adalah tegangan minimum ketika suatu material baja kehilangan sifat elastisnya.

INDEKS

- A**
Alkalisasi, 27, 29
Amorf, 17
Anisotropik, 12
- B**
Berat Jenis, 18
- C**
Curing, 18
- D**
Deformasi, 21, 24, 48, 70
Densitas, I, 4, 9, 30, 36, 37, 38, 56, 61
Durometer, 25
- E**
Elastis, 16, 20, 70
Elongasi, 18, 67
Emisi, 18
Energi, 21, 24, 68
Epoxy, 68
- F**
Fiber, 11, 12, 13, 18, 71
Filler, I, Ii, 5, 6, 8, 9, 26, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 56, 58, 59, 61, 62
Fluktuatif, I, 55, 62
Fraksi Volum, I, 7, 8, 9, 10, 29, 35, 37, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 56, 58, 59, 61
- G**
Genus, 16
Grafik, 20, 21, 35, 37, 40, 42, 45, 51
- H**
Hand Lay Up, I
Hidrofilik, 41
- I**
Inersia, 22
Isolator, 11
Isotropik, 12
- K**
Kalsit, 5, 7
Katalis, 4, 18, 27, 29, 68
Kekerasan, I, 8, 24, 25, 34, 35, 54, 55, 58, 61, 67
Kekuatan Impak, I, 56, 61
Kekuatan Tarik, I, 5, 8, 9, 10, 11, 19, 20, 21, 44, 45, 46, 54, 56, 58, 59, 61
Komposisi, I, 5, 9, 26, 35, 38, 46, 47, 49, 52, 53, 58, 61, 62
Korosi, 4, 5, 11
Kuantitatif, 25
- L**
Litoral, 5
- M**
Matriks, I, Ii, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 27, 38, 48, 49, 53, 55, 56, 59, 62
Mikroskop, 26, 69
Mineral, 6, 17, 69
Modulus Elastisitas, 13, 20, 36, 44, 45, 49
Modulus Fleksural, 18
Modulus Young, 9, 11, 35, 54
Mikrostruktur, i, 23, 34
- P**
Partikel, I, 7, 8, 9, 10, 14, 18, 41, 44, 46, 56, 57, 59, 67, 68
Periostrakum, 6, 17
Peroksida, 18

Poliester, I, Ii, 27, 38, 43, 53, 55,
56, 57, 58
Polimer, I, Ii, 7, 38, 64, 65, 70
Protein, 6, 17

R

Regangan, 12, 19, 20, 36, 44, 45,
47, 49, 54, 56, 70
Resin, I, 4, 5, 8, 9, 17, 19, 27, 38,
46, 47, 52, 53, 57, 58, 64, 67

S

Senyawa, 14, 70
Serat, 4, 5, 11, 13, 14, 57, 62, 68
Sifat Fisis, I, Ii, 5, 7, 8, 26, 30, 35,
36, 61
Sifat Mekanik, I, Ii, 7, 8, 11, 19, 43,
47

T

Tegangan, 12, 13, 14, 19, 20, 22,
36, 44, 54, 69, 70

U

Uji Impak, 21, 33, 34
Uji Puntir, 21
Uji Tarik, 21, 36
Uji Tekan, 21

V

Void, I, 29, 38, 41, 46, 58, 62

Y

Yield Strenght, 48