PENGARUH FRAKSI VOLUME SILIKON DIOKSIDA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK KOMPOSIT DENGAN MATRIK *EPOXY RESIN*

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

ITTOFAN GUNTORO DEWANTIKA SURGAWAN
NIM. 0210623039 - 62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH FRAKSI VOLUME SILIKON DIOKSIDA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK KOMPOSIT DENGAN MATRIK *EPOXY RESIN*

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ITTOFAN GUNTORO DEWANTIKA SURGAWAN
NIM. 0210623039-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Sugiarto, ST., MT	**Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE**
NIP. 132 137 966	**NIP. 132 048 543**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH FRAKSI VOLUME SILIKON DIOKSIDA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK KOMPOSIT DENGAN MATRIK *EPOXY RESIN*

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ITTOFAN GUNTORO DEWANTIKA SURGAWAN
NIM. 0210623039-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 03 Agustus 2009

Skripsi I	Skripsi II
Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT	**Ir. Endi Sutikno, MT**
NIP. 132 159 708	**NIP. 131 756 002**

Komprehensif

Ir. Suharto, MT
NIP. 131 131 025

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 132 159 708

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- "*Everyting should be made as simple as possible, but not simpler*." – A. Einstein.
- "*Never trust an experimental result until it has been confirmed by theory*." – Sir Arthur Eddington.
- "*Luck is the residue of hard work*." – J. Davenport.
- "*The end is where we start from*." – T.S. Elliot.

PERSEMBAHAN :

Karya ini disusun sebagai bakti dan cinta penulis kepada :

- ✓ Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya.
- ✓ Bapak dan Ibu tercinta atas segala bantuan, dukungan dan doanya.
- ✓ Kakak dan adik-adikku yang selalu memberi semangat.
- ✓ Teman-teman seperjuangan M'02.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit dengan Matrik *Epoxy Resin*" yang merupakan sebagian dari persyaratan akademik untuk meperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini sepantasnyalah penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang membantu menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan juga selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan dalam penyusunan skripsi.
3. Bapak Sugiarto, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang dengan kesabaran dan keihklasan telah meluangkan banyak waktu guna memberikan bimbingan, petunjuk, koreksi dan dorongan semangat yang tak ternilai harganya dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M. MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Seluruh Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, yang telah mendidik dan mengajarkan serta menularkan ilmu pengetahuan di saat penulis aktif mengikuti perkuliahan, sehingga dengan berbekal ilmu pengetahuan tersebut, penulis dapat menyusun skripsi ini.
6. Staf Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang banyak membantu kelancaran dalam urusan administrasi.
7. Kedua Orang Tua Tercinta, yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, dan yang selalu berdoa dari jauh untuk keberhasilan penulisan serta memberi dorongan, semangat, bantuan baik material maupun spiritual kepada penulis.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Saudara-saudaraku (Istiqa, Ittofiq, dan mas Ittok) yang telah memberikan segalanya yang terbaik dalam penyusunan skripsi ini.

8. Seorang yang dekat dihati, yang selalu memberikan semangat dan kasihnya kepada penulis.
9. Keluarga Besar Fakultas Teknik Jurusan Mesin Angkatan 2002 atas semua bantuan, semangat dan kenangan indah selama ini, terutama untuk teman-teman seperjuangan; Divie (Pak Tile), Ruby (Boneng), Ade (Bongkreng), Panji, Arik, Tatong dan juga rekan-rekan angkatan 2000 – 2003 lainnya.
10. Sahabat-sahabat setia; Vidya (Gundhol), Siswanto (Cek Sis), Yudha (Ambon), Adi (NTB) untuk bantuan dan dukungan slama ini, serta teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Pengairan Angkatan 1995 – 2003 lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, dengan segala kerendahan hati penulis mohon maaf jika dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekeliruan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat berguna untuk kesempurnaan skripsi ini agar lebih baik.

Semoga skripsi ini dapat memberikan sumbangsih bagi dunia ilmu pengetahuan dan berbagai pihak yang akan mengembangkan skripsi ini.

Malang, 15 Juni 2009

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR TABEL vi
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR LAMPIRAN ix
DAFTAR SIMBOL x
RINGKASAN xii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan 6
2.2 Komposit 7
2.2.1 Definisi Komposit 7
2.2.2 Penyusun Komposit 7
2.2.3 Sifat Komposit 8
2.2.4 Klasifikasi Komposit 9
2.3 Matrik 13
2.3.1 Polimer 14
2.3.2 Logam 25
2.3.3 Keramik 25
2.4 Penguat (*reinforcement*) 26
2.4.1 Silikon Dioksida 26
2.5 Katalis 29
2.6 Teori Ikatan Matriks dan Penguat 30
2.7 Metode Pembuatan Komposit 31

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.8 Karakterisasi Komposit 32
2.8.1 Kekuatan Tarik 32
2.8.2 Kekuatan Impak 37
2.9 Hipotesis 41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 42
3.1 Metode Penelitian 42
3.2 Variabel Penelitian 42
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian 42
3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan 43
3.4.1 Alat yang Digunakan 43
3.4.2 Bahan yang Digunakan 44
3.5 Prosedur Pembuatan Spesimen 44
3.6 Metode Pengujian 45
3.6.1 Pengujian Kekuatan Tarik Komposit 45
3.6.2 Pengujian Kekuatan Impak Komposit 46
3.7 Rancangan Penelitian 47
3.7.1 Analisa Statistik 47
3.7.2 Analisa Varian Satu Arah 48
3.8 Diagram Alir Penelitian 51
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 52
4.1 Data Hasil Pengujian 52
4.1.1 Data Hasil Pengujian Tarik 52
4.1.2 Data Hasil Pengujian Impak 53
4.2 Analisa Satistik 53
4.2.1 Analisa Statistik Pengujian Tarik 53
4.2.2 Analisa Statistik Pengujian Impak 55
4.3 Analisa Varian Satu Arah 56
4.3.1 Analisa Varian Satu Arah Kekuatan Tarik 57
4.3.2 Analisa Varian Satu Arah Kekuatan Impak 59
4.4 Pembahasan 60
4.4.1 Analisa Hubungan Antara Persentase Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhapa Kekuatan Tarik Komposit 61
4.4.2 Analisa Hubungan Antara Persentase Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Impak Komposit 62

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.4.3 Analisa Hubungan Antara Persentase Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit 64

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 66

5.1 Kesimpulan 66

5.2 Saran 66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	*Typical properties* dari resin epoksi	19
Tabel 2.2.	Perbedaan sifat fisis diantara bentuk-bentuk kristal	28
Tabel 2.3.	Beberapa sifat fisis SiO_2	29
Tabel 3.1.	Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik	46
Tabel 3.2.	Dimensi spesimen pengujian kekuatan impak	47
Tabel 3.3.	Sistematika penulisan data penelitian kekuatan mekanik	48
Tabel 3.4.	Analisa varian satu arah	50
Tabel 4.1.	Data hasil pengujian tarik komposit	53
Tabel 4.2.	Data hasil pengujian impak komposit	53
Tabel 4.3.	Interval penduga kekuatan tarik komposit	55
Tabel 4.4.	Interval penduga kekuatan impak komposit	56
Tabel 4.5.	Analisa varian satu arah kekuatan tarik komposit	58
Tabel 4.6.	Analisa varian satu arah kekuatan impak komposit	60

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Penyusun komposit	8
Gambar 2.2.	Skema penyusunan variasi geometri dan karakteristik sebagai parameter yang mempengaruhi properti komposit	9
Gambar 2.3.	Pembagian komposit berdasarkan penguatnya	10
Gambar 2.4.	Illustrasi komposit berdasarkan penguatnya	10
Gambar 2.5.	*Particulate composite*	11
Gambar 2.6.	Ilustrasi komposit berdasarkan skema penyusunan seratnya	12
Gambar 2.7.	*Laminate composite*	12
Gambar 2.8.	Illustrasi komposit berdasarkan strukturnya	13
Gambar 2.9.	Reaksi polimerisasi pembentukan *polyethylene*	14
Gambar 2.10.	Klasifikasi polimer sebagai matrik komposit	15
Gambar 2.11.	Skema struktur rantai polimer termoset, *crosslink*	16
Gambar 2.12.	Grafik hubungan temperatur – waktu, polimer *thermosets*	17
Gambar 2.13.	Pembentukan epoksi oleh reaksi *bisphenol A* dengan *epiklorohidrin*	18
Gambar 2.14.	Struktur *epoxy group*	19
Gambar 2.15.	Perbandingan daya rentang dan kekakuan dari *polyester*, *vinylester*, dan *epoxy*	20
Gambar 2.16.	Skema struktur rantai polimer termoplastik, (a) *liniar* dan (b) *branched*	21
Gambar 2.17.	Grafik hubungan temperatur – waktu, polimer *thermoplastics*	22
Gambar 2.18.	Struktur lokal silikon dioksida	27
Gambar 2.19.	Sudut ikatan Si-O-Si	27
Gambar 2.20.	Beberapa bentuk unit kristal SiO_2	28
Gambar 2.21.	*Mechanical bonding*	30
Gambar 2.22.	*Electrostatic bonding*	30
Gambar 2.23.	*Reaction bonding*	31
Gambar 2.24.	Kurva tegangan – regangan dari material yang bersifat ulet	33
Gambar 2.25.	Kurva tegangan – regangan dari material yang bersifat getas	35
Gambar 2.26.	Skema pengujian *impact*	37

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 2.27. Ilustrasi skematik pengujian impak dengan benda uji *Charpy* 39
Gambar 2.28. Ilustrasi pembebanan impak pada benda uji *Charpy* dan *Izod* 40
Gambar 3.1. Spesimen pengujian kekuatan tarik 45
Gambar 3.2. Spesimen pengujian kekuatan impak 46
Gambar 3.3. Diagram alir penelitian 51
Gambar 4.1. Diagram tegangan- regangan dari komposit matrik *epoxy resin* – variasi fraksi volume silikon dioksida 52
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan tarik komposit matrik *epoxy resin* 61
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan impak komposit matrik *epoxy resin* 63
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik *epoxy resin* 64

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Data kekuatan tarik
Lampiran 2.	Data kekuatan impak
Lampiran 3.	Tabel distribusi F
Lampiran 4.	Alat dan bahan yang digunakan
Lampiran 5.	Foto spesimen uji tarik dengan variasi fraksi volume silikon dioksida
Lampiran 6.	Foto spesimen uji impak dengan variasi fraksi volume silikon dioksida
Lampiran 7.	Perhitungan komposisi komposit

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Besaran	Satuan
A'	: Energi yang digunakan secara ideal	Newton milimeter (N·mm)
A	: Energi yang digunakan secara aktual	Newton milimeter (N·mm)
A_o	: Luas penampang awal spesimen	Milimeter persegi (mm^2)
A_f	: Luas penampang akhir spesimen	Milimeter persegi (mm^2)
A_k	: Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang	Newton milimeter per milimeter persegi ($N \cdot mm/mm^2$)
E	: Modulus elastisitas	Newton per milimeter persegi (N/mm^2)
f	: Energi akibat kerugian gesekan	Newton milimeter (N·mm)
f_o	: Luas penampang patahan benda kerja pada *notch*	Milimeter persegi (mm^2)
F_{maks}	: Beban maksimum	Newton (N)
G	: Berat pendulum	Kilogram (kg)
h_1	: Tinggi pendulum sebelum dilepas	Milimeter (mm)
h_2	: Tinggi pendulum saat dilepas	Milimeter (mm)
L	: Panjang lengan pendulum	Milimeter (mm)
l_o	: Panjang awal dari spesimen	Milimeter (mm)
l_f	: Panjang akhir dari spesimen	Milimeter (mm)
R	: Persentase pengurangan (*Area Reduction*)	Persen (%)
W_c	: Berat komposit	Gram (gr)
W_f	: Berat *filler*	Gram (gr)
W_m	: Berat matrik	Gram (gr)
V_c	: Volume komposit	Milimeter kubik (mm^3)
V_f	: Volume *filler*	Milimeter kubik (mm^3)
V_m	: Volume matrik	Milimeter kubik (mm^3)
Δ_l	: Pertambahan panjang	Milimeter (mm)
α	: Sudut simpangan akhir dengan beban	Derajat (^{o})
α_o	: Sudut simpangan akhir tanpa beban	Derajat (^{o})

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

β	: Sudut simpangan awal	Derajat (^{o})
ε	: Persentase perpanjangan (*Elongation*)	Persen (%)
ρ_f	: Berat jenis *filler*	Gram per milimeter kubik (gr/mm^3)
ρ_m	: Berat jenis matrik	Gram per milimeter kubik (gr/mm^3)
σ_{uts}	: Tegangan tarik maksimum	Newton per milimeter persegi (N/mm^2)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Ittofan Guntoro Dewantika Surgawan, Juni 2009. Program Studi Teknik Mesin S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, "**Pengaruh Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit dengan Matrik *Epoxy Resin***", Dosen Pembimbing : Sugiarto, ST., MT dan Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE.

Perkembangan teknologi material dunia saat ini tidak hanya berbasis pada material monolitik (material tunggal). Salah satu jenis material yang sekarang banyak diminati untuk dikembangkan adalah komposit. Keuntungan menggunakan komposit antara lain bobotnya yang relatif ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik, mudah dibentuk, biaya produksi lebih murah, tahan terhadap bahan kimia, serta tahan terhadap korosi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi bidang industri untuk mengetahui apakah ada pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak pada komposit dengan matrik *epoxy resin*.

Obyek dalam penelitian ini menggunakan bahan *epoxy resin* sebagai matrik sedangkan silikon dioksida sebagai penguatnya. Metode pengumpulan data dilakukan dengan eksperimental nyata. Parameter dalam penelitian ini adalah fraksi volume silikon dioksida dengan variasi (10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%) sebagai variabel bebas, kekuatan tarik dan kekuatan impak sebagai variabel terikat, dan pemberian katalis sebesar 1% dari volume resin *epoxy* sebagai variabel terkendali. Proses pembuatan komposit menggunakan metode *casting*. Pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Data yang diperoleh diolah dengan analisa statistik dan analisa varian satu arah, serta digambarkan dalam bentuk grafik.

Dari hasil pengolahan data terbukti bahwa fraksi volume silikon dioksida berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit. Kekuatan tarik tertinggi didapat pada spesimen dengan penambahan fraksi volume silikon dioksida sebanyak 10%, yaitu sebesar 40,208 N/mm^2, sedangkan kekuatan impak tertinggi diperoleh pada spesimen dengan penambahan fraksi volume silikon dioksida sebanyak 30%, yaitu sebesar 13,422 $N \cdot mm/mm^2$.

Kata kunci : Silikon Dioksida, Kekuatan Tarik, Kekuatan Impak, Komposit, *Epoxy*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Ketergantungan dunia industri terhadap material logam saat ini sudah mulai berkurang dengan dikembangkannya material-material baru yang memiliki karakteristik dan sifat-sifat istimewa yang sulit didapat dari material logam. Hal tersebut bisa dilihat dari perkembangan teknologi material dunia saat ini yang tidak hanya berbasis pada material monolitik (material tunggal). Banyak penelitian mulai mengungkap dimana para peneliti mencari material yang lebih efisien, ramah lingkungan, murah, ringan namun juga kuat. Salah satu jenis material yang sekarang banyak diminati untuk dikembangkan adalah komposit. Hal itu dikarenakan penggunaan dari material tersebut yang sangat luas dan memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan material lainnya. Keuntungan menggunakan material komposit antara lain bobotnya yang relatif ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik, mudah dibentuk, biaya produksi lebih murah, dapat dibuat berwarna maupun transparan, tahan terhadap bahan kimia, dan juga tahan terhadap korosi (Schwartz, 1997). Komposit di definisikan sebagai gabungan atau kombinasi antara dua material maupun lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Gibson, 1994).

Matrik yang berfungsi sebagai pengikat dalam material komposit bisa berupa polimer, keramik, maupun logam. Polimer sendiri memiliki berbagai macam jenis, salah satunya adalah *epoxy*. *Epoxy* didefinisikan sebagai molekul yang mengandung lebih dari satu *epoxy group*. *Bisphenol A* dan *epichlorhydrin* sering dipakai sebagai bahan dasar pembuatan resin *epoxy*. *Epoxy* merupakan salah satu jenis polimer termoset dengan kegunaan yang luas dalam industri minyak dan gas, industri pesawat, peralatan rumah tangga, olah raga, teknik kimia, listrik, mekanik, elektronik maupun otomotif karena sifatnya yang lebih unggul dibandingkan dengan polimer lainnya. Penggunaannya yang luas ini dikarenakan *epoxy* memiliki karakteristik listrik yang bagus, tahan terhadap bahan kimia, stabilitas dimensi yang baik, ketahanan termal yang tinggi, daya penyusutan yang kecil pada waktu mengeras, perekat yang bagus untuk banyak bahan logam, tahan terhadap kelembaban udara dan tahan terhadap tekanan, seta kemampuan untuk dibentuk dengan mudah kedalam bentuk yang rumit (Goodman, 1998).

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dalam proses pembuatan komposit, peran penguat atau *reinforcement* mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam memperbaiki mutu produk. Penguat dapat berupa serat maupun partikel, dimana keduanya mempunyai keunggulan dan kelemahan masing-masing. Untuk penguat berupa partikel, perbaikan mutu produk komposit tergantung pada, ukuran partikel, fraksi volume, dan jenis partikel yang dipakai. Penggunaan penguat yang berupa partikel dapat meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material komposit. Penyebaran partikel mengakibatkan pengerasan pada matrik karena gerakan dislokasi dalam matrik terhalang oleh partikel tersebut, sehingga matrik menjadi lebih kuat (Budinski, 1996). Salah satu jenis penguat yang banyak dipakai dalam pembuatan produk komposit polimer adalah mineral. Silikon dioksida (*silicon dioxide*) adalah senyawa padat dengan ikatan kovalen antara atom silikon - oksigen, memiliki rumus kimia SiO_2. Silikon dioksida pada umumnya ditemukan dalam batu pasir, pasir silika atau *quartzite*. Silika merupakan salah satu material oksida yang keberadaannya berlimpah di alam, khususnya di kulit bumi. Keberadaanya bisa dalam bentuk amorf, dan kristal. Pertimbangan penggunaan silikon dioksida sebagai penguat karena dapat meningkatkan density, kekerasan permukaan pada produk akhir, sifat dielektris yang baik, semikonduktor, stabil di dalam air dan temperatur tinggi, mudah terdispersi, tidak beracun, dan memiliki titik leleh serta titik didih yang tinggi (Clark, 2007).

Dalam penelitian sebelumnya, komposit termoplastik yang diperkuat dengan penguat partikel dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat termal, sifat elektrik, serta dapat mengurangi biaya produksi. Penambahan penguat anorganik seperti *mica, silica, aluminatrihydrate*, *clays*, *wollastonite, glass,* dan lain sebagainya kedalam resin polimer memberikan peningkatan sifat fisik seperti kekuatan mekanis, *modulus and heat deflection temperature*. Penguat partikel yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *mica* dengan variasi ukuran partikel (butiran) sebesar 35µm dan 75µm. Sedangkan untuk fraksi volume *mica* yang ditambahakan ke dalam komposit polimer dengan resin *Nylon-6* sebagai matriknya adalah sebesar 5% sampai 40%. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa dengan semakin meningkatnya persentase penambahan partikel *mica* sebagai penguat, terjadi peningkatan sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik pada komposit. Selain pengaruh persentase penambahan fraksi volume partikel *mica*, dalam penelitian tersebut juga diketahui bahwa seiring dengan penurunan ukuran partikel *mica* yang digunakan terjadi peningkatan pada sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik dari komposit (Bose, 2004).

Dari berbagai alasan serta latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka perlu dilakukan adanya penelitian tentang material komposit yang menggunakan silikon dioksida sebagai material penguat dan resin *epoxy* sebagai matrik. Penelitian tersebut dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap sifat mekaniknya. Dalam penelitian ini sifat mekanik ditunjukkan dengan kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan impak (*impact strength*) dari komposit tersebut. Sehingga dengan penambahan fraksi volume silikon dioksida pada resin *epoxy* diharapkan dapat merubah karateristik komposit, diantaranya adalah meningkatkan kekuatan impak dan kekuatan tarik komposit.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik pada komposit dengan matrik *epoxy resin*?
2. Bagaimanakah pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan impak pada komposit dengan matrik *epoxy resin*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan agar penelitian tidak menyimpang luas. Dalam penelitian ini, batasan permasalahannya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilaksanakan terhadap polimer termoset yaitu jenis *epoxy resin* sebagai matrik dan menggunakan silikon dioksida (SiO_2) sebagai bahan penguat *(reinforced)*.
2. *Epoxy resin* dan bahan pengeras *(hardener)* dicampur dengan perbandingan volume 1:1 dan penambahan katalis sebanyak 1% dari volume *epoxy*. Tidak membahas tentang reaksi kimia yang terjadi.
3. Fraksi volume silikon dioksida (SiO_2) yang digunakan sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.
4. Distribusi penguat dalam matrik dianggap merata, serta campuran komposit dianggap homogen dan isotropik.
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik dan pengujian kekuatan impak.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik pada komposit dengan matrik *epoxy resin*.
2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan impak pada komposit dengan matrik *epoxy resin*.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dan dapat dipakai sebagai kajian teoritis dan praktis bagi pihak-pihak terkait yang berkompeten dalam bidang penelitian dan industri, yaitu :

1. Secara teoritis dapat dipakai untuk mengetahui besarnya pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak pada komposit dengan matrik *epoxy resin*.
2. Secara praktis dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi bidang industri untuk mengetahui apakah ada pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak pada komposit dengan matrik *epoxy resin*.
3. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dan referensi untuk membuat penelitian komposit yang mengunakan bahan sejenisnya atau penelitian yang lebih luas.
4. Dapat menunjang perkembangan IPTEK khususnya dalam bidang rekayasa material.
5. Bagi mahasiswa Universitas Brawijaya diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah wahana ilmu pengetahuan di bidang industri dan di bidang pengetahuan bahan, khususnya di Fakultas Teknik Jurusan Mesin.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini terdiri dari :

1. Bagian Awal

   Bagian ini terdiri dari judul, pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, daftar lampiran, daftar simbol, dan ringkasan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Bagian Isi Skripsi

   Bagian ini terdiri dari 5 bab, yaitu :

   BAB I PENDAHULUAN

   Berisikan latar belakang penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

   BAB II TINJAUAN PUSTAKA

   Berisikan kajian-kajian teori yang berkaitan dengan topik yang diajukan berdasarkan dari hasil studi literatur dan jurnal.

   BAB III METODOLOGI PENELITIAN

   Berisikan metode penelitian, obyek penelitian, waktu dan tempat penelitian, metode pengumpulan data, prosedur penelitian, serta metode analisa data.

   BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

   Berisikan data hasil penelitian, analisa hasil penelitian serta pembahasan yang didasarkan dari kajian teori dan fakta hasil penelitian.

   BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

   Berisikan hasil ringkasan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

3. Bagian Akhir

   Bagian ini terdiri dari daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan

Bose (2004), menyatakan bahwa komposit termoplastik yang diperkuat dengan penguat partikel dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat termal, sifat elektrik, serta dapat mengurangi biaya produksi. Penambahan penguat anorganik seperti *mica, silica, aluminatrihydrate*, *clays*, *wollastonite, glass,* dan lain sebagainya kedalam resin polimer memberikan peningkatan sifat fisik seperti kekuatan mekanik, *modulus and heat deflection temperature*. Penguat partikel yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *mica* dengan variasi ukuran partikel (butiran) sebesar 35µm dan 75µm. Sedangkan untuk fraksi volume *mica* yang ditambahakan ke dalam komposit polimer dengan resin *Nylon-6* sebagai matriknya adalah sebesar 5% sampai 40%. Dari hasil penelitian diketahui bahwa dengan semakin meningkatnya persentase penambahan partikel *mica* sebagai penguat, terjadi peningkatan sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik pada komposit. Selain pengaruh persentase penambahan fraksi volume partikel *mica*, dalam penelitian tersebut juga diketahui bahwa seiring dengan penurunan ukuran partikel *mica* yang digunakan terjadi peningkatan pada sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik dari komposit.

Dana (2007) meneliti tentang penggunaan *clay* sebagai partikel penguat dalam komposit polimer yang menggunakan matrik *polypropylene* (*PP*) terhadap *tensile strength, hardness*, *impact strength*, *microstructural*, dan *thermal properties*. Pada penelitian tersebut, fraksi massa dari partikel *clay* sebagai penguat yang ditambahakan ke dalam resin *polypropylene* sebesar 0% sampai 12%. Dari hasil penelitian diketahui bahwa dengan bertambahnya fraksi massa partikel *clay* sebagai penguat meyebabkan sifat mekanik komposit mengalami peningkatan. Peningkatan kekuatan mekanik material ini, terjadi akibat penambahan partikel *clay* pada resin *polypropylene*, dimana kekuatan mekanik tertinggi dicapai pada penambahan fraksi massa sebesar 5%. Permukaan partikel *clay* yang sangat luas berinteraksi dengan rantai polimer sehingga mereduksi mobilitas rantai polimer. Interaksi ini meningkatkan kekuatan mekanik komposisit tersebut jauh di atas kekuatan polimer itu sendiri. Namun, peningkatan ini hanya sampai titik tertentu, kemudian penambahan lebih banyak lagi jumlah *clay* justru menurunkan kekuatan material.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dengan demikian, diharapkan pada pengujian yang akan dilakukan dengan penggunaan partikel penguat, matrik, dan cara yang berbeda, diperoleh hasil yang lebih baik dari pengujian-pengujian sebelumnya. Dan penelitian ini membuka peluang untuk mendapatkan material superkuat baru, terutama sifat mekanik khususnya kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan impak (*impact strength*).

2.2 Komposit

2.2.1 Definisi Komposit

Komposit didefinisikan sebagai perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun (Gibson, 1994).

Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya, maka komposit antar material yaitu matrik dan *reinforcement* harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent* (Schwartz, 1997).

Beberapa definisi komposit (Urquhart, 1991) sebagai berikut :

- Tingkat dasar :

  Pada molekul tunggal dan kisi kristal, bila material disusun dari dua atom atau lebih yang berbeda disebut komposit.
- Mikrostruktur :

  Pada kristal, phase atau senyawa, bila material disusun dari dua atau lebih struktur molekul atau phase disebut komposit.
- Makrostruktur :

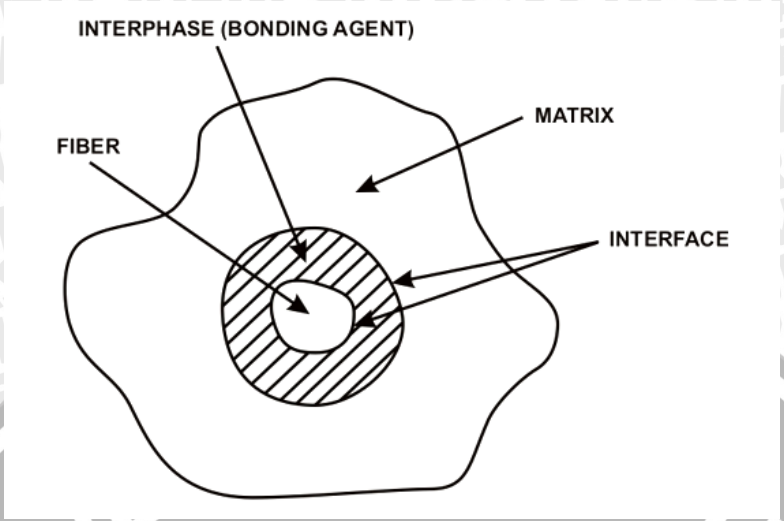
  Material yang disusun dari gabungan dua atau lebih penyusun macro yang berbeda dalam bentuk dan/atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit (definisi secara makro ini yang biasanya sering dipakai).

2.2.2 Penyusun Komposit

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; *Matrix* (penyusun dengan fraksi volume terbesar), *Reinforced* (penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *Interface* (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain).

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Untuk lebih memahami definisi dan penyusun komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Penyusun komposit
Sumber : Urquhart, 1991

Secara garis besar, komposit disusun dari dua komponen utama yaitu matrik dan *reinforcement* atau penguat atau ada juga yang menyebut *filler*. Fungsi utama matrik adalah melindungi komposit dari gangguan luar, mentransfer beban yang diterima komposit kepada *reinforcement* yang digunakan sehingga membuat material lebih lebih kuat, dan mengikat *reinforcement* sehingga arah orientasinya stabil. Sedangkan *reinforcement* atau penguat merupakan suatu material yang mempunyai sifat fisik khas yang bisa membuat kekuatan komposit bertambah.

2.2.3 Sifat Komposit

Sifat maupun karakteristik dari komposit (Urquhart, 1991) ditentukan oleh :

- ✓ Material yang menjadi penyusun komposit

  Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun (matrik dan *reinforcement*) menurut *rule of mixture* sehingga akan berbanding secara proporsional.

- ✓ Bentuk dan orientasi penyusunan struktural dari penyusun

  Bentuk dan orientasi penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.

- ✓ Ukuran serat maupun partikel

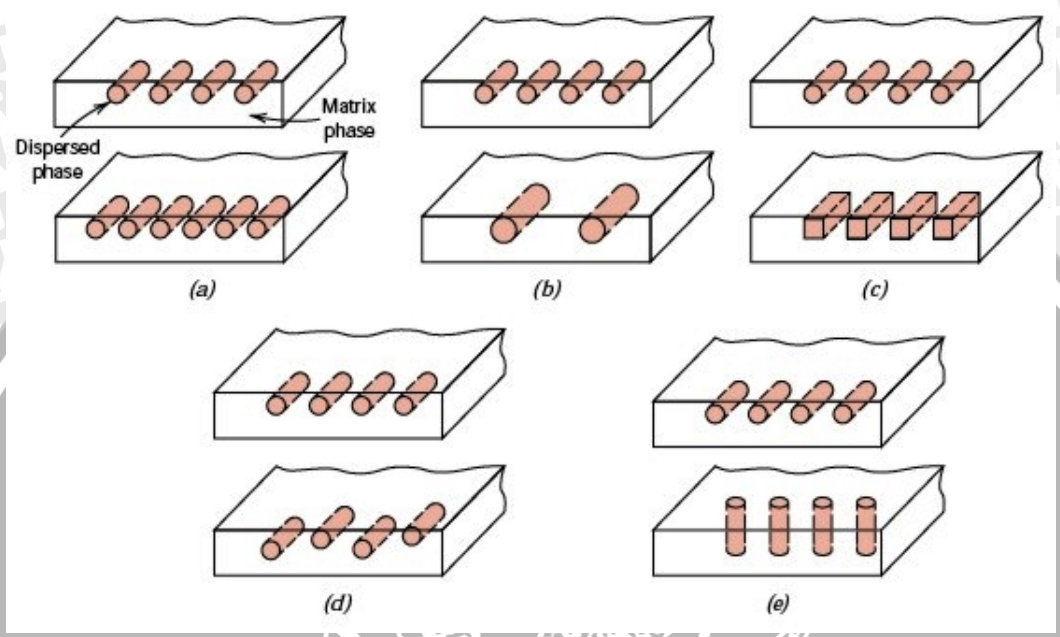
  Ukuran geometri penyusun komposit, baik serat maupun partikel akan mempengaruhi sifat dan karakter komposit.

- ✓ Interaksi antar penyusun

  Bila terjadi interaksi antar penyusun, maka akan meningkatkan sifat dari komposit.

- ✓ Rasio antar penyusun

  Variasi fraksi volume antar penyusun komposit memberikan pengaruh yang nyata pada sifat dan karakteristik dari komposit.



Gambar 2.2 Skema penyusunan variasi geometri dan karakteristik sebagai parameter yang mempengaruhi properti komposit (a) *Concentration* (b) *Size* (c) *Shape* (d) *Distribution* (e) *Orientation*
Sumber : Flinn, 1990

Bahan komposit dibentuk pada saat yang sama ketika struktur tersebut dibuat. Hal ini berarti bahwa dalam pembuatan struktur menciptakan sifat-sifat maupun karakteristik bahan komposit yang dihasilkan, dan juga proses manufaktur yang digunakan biasanya merupakan bagian yang kritikal dimana nantinya berperanan dalam menentukan kinerja struktur yang dihasilkan dengan memilih kombinasi material serat maupun partikel dan matrik yang tepat.

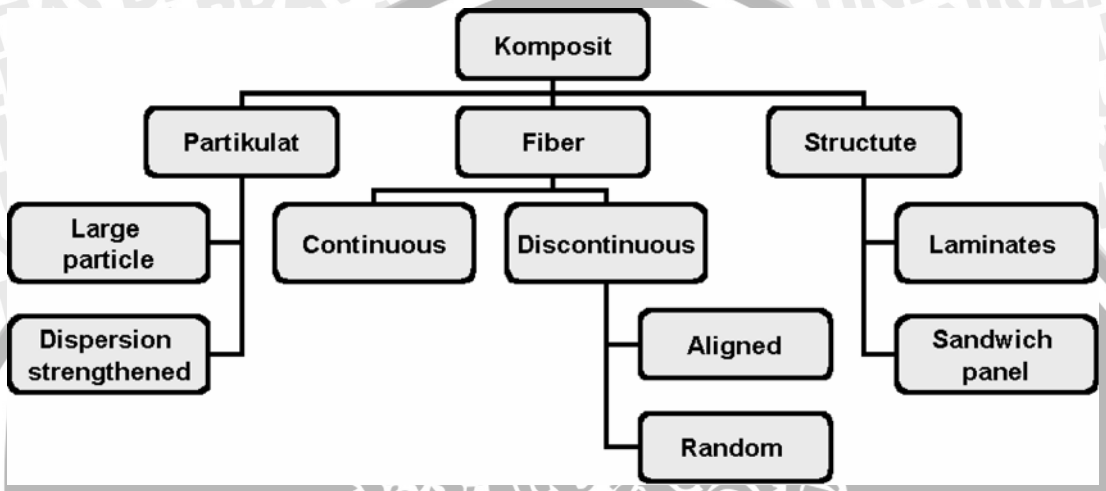
2.2.4 Klasifikasi Komposit

Berdasarkan matriknya, komposit dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok besar (Gerald, 2003), yaitu :

1. Komposit matrik logam (*Polymer Matrix Composites* – PMC), yaitu menggunakan logam sebagi matrik.

2. Komposit matrik polimer (*Metal Matrix Composites* – MMC), yaitu menggunakan polimer sebagai matrik.
3. Komposit matrik keramik (*Ceramic Matrix Composites* – CMC), yaitu menggunakan keramik sebagai matrik.

Adapun pembagian komposit dengan berdasarkan penguatnya dapat dilihat dari Gambar 2.3 sebagi berikut :

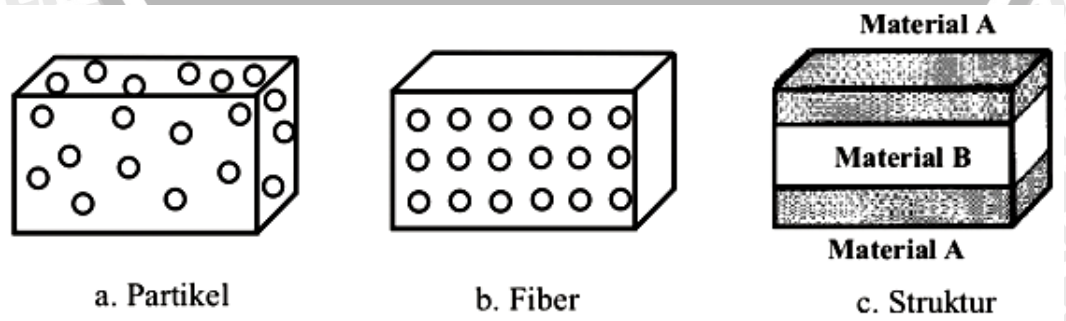


Gambar 2.3 Pembagian komposit berdasarkan penguatnya
Sumber : Russell, 1983

Dari Gambar 2.3 komposit berdasakan jenis penguatnya dapat dijelasakan sebagai berikut :

a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel
b. *Fiber composite*, penguatnya berbentuk serat
c. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit

Adapun illustrasi dari komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



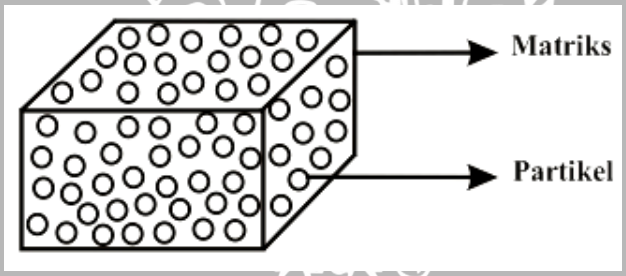
Gambar 2.4 Illustrasi komposit berdasarkan penguatnya
Sumber : Ashby, 1980

a. *Particulate Composite*

Particulate composite (komposit partikel) merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel (serbuk) sebagai *reinforcement* dan terdistribusi secara merata dalam matriknya. Interaksi antara partikel dan matrik terjadi tidak dalam skala atomik atau *molecular*. Menurut definisinya, partikel berbentuk beberapa macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi secara rata-rata berdimensi sama.

Penggunaan *reinforcement* yang berupa partikel dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material, karena penyebaran partikel mengakibatkan pengerasan dan penguatan pada matrik sehingga gerakan dislokasi dalam matrik terhalang oleh partikel tersebut. Selain itu, penggunaan partikel sebagai *reinforcement* mempunyai beberapa keunggulan, seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik.

Partikel yang digunakan pada komposit dapat berupa logam, non logam maupun berupa mineral yang memiliki ukuran menyerupai butiran seragam serta tidak memiliki dimensi panjang. Berdasarkan partikelnya, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu : *Large partikel* dan *Dispersion strengthened*. Sedangkan penyusunan partikel dalam matrik bisa teratur (*preferred*) maupun acak (*random*) dan masing-masing menghasilkan sifat yang berbeda pula.

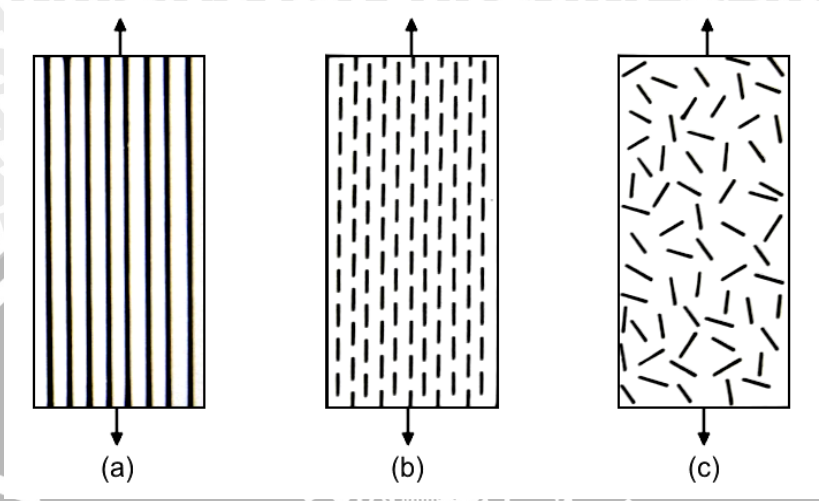


Gambar 2.5 *Particulate composite*
Sumber : Ashby, 1980

b. *Fiber Composite*

Fiber composite (komposit serat) merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan *reinforcement* berupa serat (*fiber*). Serat yang digunakan harus mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter matriknya namun harus lebih kuat dari matriknya, serta mempunyai *tensile strength* yang tinggi. Proses pelapisan dilakukan dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan yang lebih berguna.

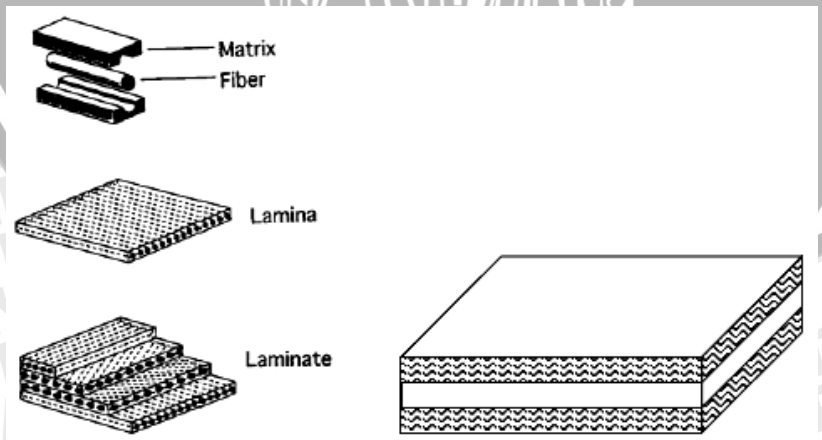
Di dalam komposit yang bersangkutan, serat disusun dengan berbagai macam skema untuk menentukan sifat mekaniknya. Skema penyusunan serat juga menentukan kemudahan proses pembuatan material komposit. Anderson (1990) menyatakan bahwa terdapat tiga skema penyusunan serat pada material komposit serat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 sebagai berikut :



Gambar 2.6 Ilustrasi komposit berdasarkan skema penyusunan seratnya
(a) *Continuous fibres, unidirectional* (b) *Discontinuous fibres, unidirectional*
(c) *Discontinuous fibres, random*
Sumber : Mattews and Rawling, 1994

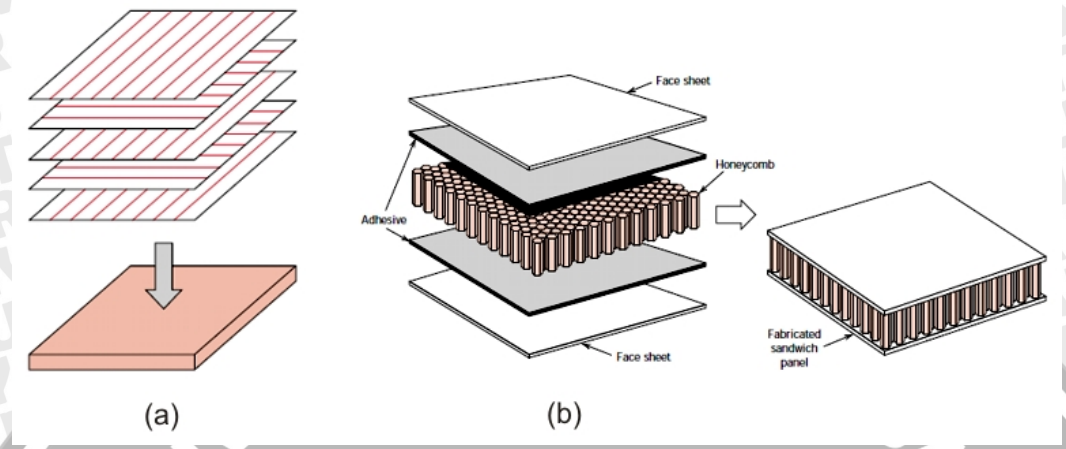
c. *Structural Composite*

Structural composite (komposit berlapis) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Untuk mendapatkan hasil dengan sifat yang lebih baik, perlu dilakukan pengkombinasian aspek terbaik dari masing-masing lapisan.



Gambar 2.7 *Laminate composite*
Sumber : Antonia, 2006

Komposit lapis dibentuk dari lapisan-lapisan lamina dengan berbagai macam penyusunan arah serat yang telah ditentukan yang disebut *laminate*. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu : struktur *laminate* dan struktur *sandwich*, illustrasi kedua struktur komposit tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Illustrasi komposit berdasarkan strukturnya
(a) Struktur *laminate* (b) Struktur *sandwich*
Sumber : *Engineered Materials Handbook,* Vol. 1, 1987

2.3 Matrik

Salah satu komponen penyusun komposit adalah matrik. Matrik merupakan unsur pada komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan), bertindak sebagai perekat yang menyatukan dan melindungi *filler*. Matrik untuk material komposit tidak hanya terbatas pada polimer tapi juga bisa berupa keramik maupun logam. Jenis dari matrik yang digunakan dapat menentukan tipe komposit. Pada penelitian kali ini matrik yang dipergunakan adalah dari polimer.

Schwartz (1997) mengemukakan bahwa matrik dalam komposit mempunyai peran sebagai berikut :

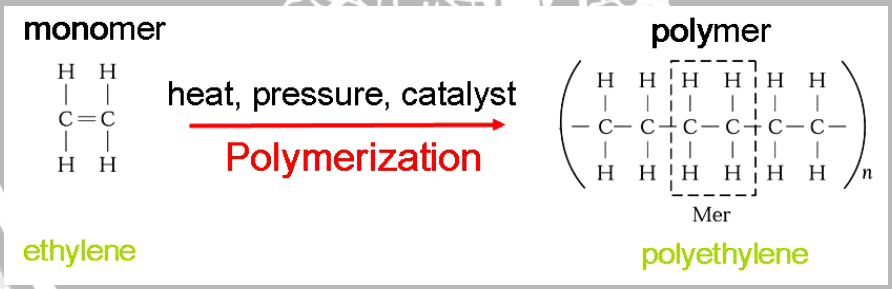
1. Mengikat *reinforcement* sehingga arah orientasinya menjadi stabil setelah proses manufaktur.
2. Membantu mendistribusikan beban yang diterima komposit kepada *reinforcement* yang digunakan.
3. Melindungi *reinforcement* dari gangguan eksternal seperti pengausan, tekanan, suhu, dan sebagainya.
4. Memberikan perlindungan kepada *reinforcement* terhadap keadaan lingkungan yang kurang baik.

Karakteristik dari matrik biasanya mempunyai densitas, kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah daripada penguat. Kemudian dengan penggabungan antara penguat dan matrik akan didapatkan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi tetapi masih mempunyai densitas yang rendah. Selain itu matrik juga harus mempunyai kecocokan secara kimia dengan penguatnya agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak antara keduanya. Pemilihan matrik dalam penyusunan komposit harus memperhatikan sifat-sifatnya, antara lain seperti tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap goncangan yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matrik.

2.3.1 Polimer

Polimer adalah salah satu bahan rekayasa *non-metallic material* yang sangat penting. Pemanfaatan polimer banyak sekali ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya plastik, yang saat ini sudah menjadi primadona industri kimia, karena banyak sekali keunggulannya. Saat ini polimer telah berkembang pesat.

Polimer (makromolekul) dibangun oleh satuan struktur dari unit-unit kecil yang dinamakan monomer, tersusun secara berulang dan diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen (Tata Surdia, 1999). Monomer-monomer tersebut bergabung melalui sebuah reaksi yang disebut dengan reaksi polimerisasi, salah satunya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Reaksi polimerisasi pembentukan *polyethylene*
Sumber : Rahmat, 2008

Secara garis besar ada dua jenis utama dari reaksi polimerisasi, yaitu :

1. Reaksi kondensasi

   Merupakan reaksi dimana pemanjangan rantai molekul terjadi dengan bereaksinya gugus fungsi pada monomer yang sama atau monomer yang berbeda. Dalam reaksi kondensasi kadang-kadang disertai dengan terbentuknya molekul kecil seperti H_2O, NH_3, atau HCl.

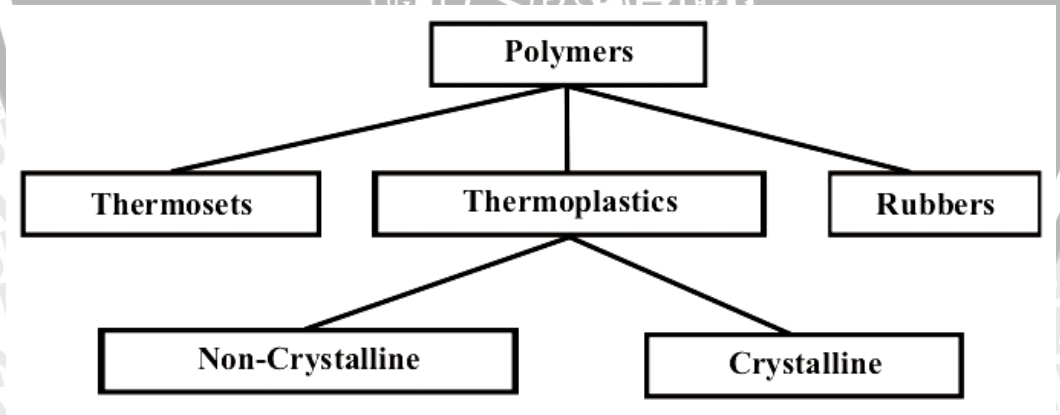
2. Reaksi adisi

Merupakan reaksi dimana ikatan-ikatan rangkap berubah menjadi ikatan tunggal bersamaan dengan terjadinya pemanjangan rantai. Dalam reaksi ini tidak disertai terbentuknya molekul-molekul kecil seperti yang terjadi pada reaksi kondensasi.

Penggunaan polimer sebagai matrik banyak digunakan dalam pembuatan komposit (*Polymer Matrix Composites* – PMC), meskipun mempunyai batasan penggunaan dalam manufaktur strukturnya, dikarenakan sifat-sifat mekanik tidak terlalu tinggi dibandingkan sebagai contoh sebagian besar logam. Bagaimanapun, bahan tersebut mempunyai sifat-sifat yang diinginkan, sebagian besar khususnya kemampuan untuk dibentuk dengan mudah kedalam bentuk yang rumit.

Jika polimer dikombinasikan dengan *reinforcement* seperti kaca, karbon maupun aramid, sifat-sifat yang luarbiasa dapat diperoleh. Kekuatan dan kekakuan yang tinggi, memudahkan pencetakan bentuk yang rumit, ketahanan terhadap lingkungan yang tinggi dengan berat jenis rendah, membuat kesimpulan komposit dengan matrik polimer lebih superior terhadap logam dalam banyak aplikasi.

Berdasarkan klasifikasi penggunaan polimer sebagai matrik dalam komposit, maka polimer dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu termoset, termoplastik dan karet seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10 sebagai berikut :

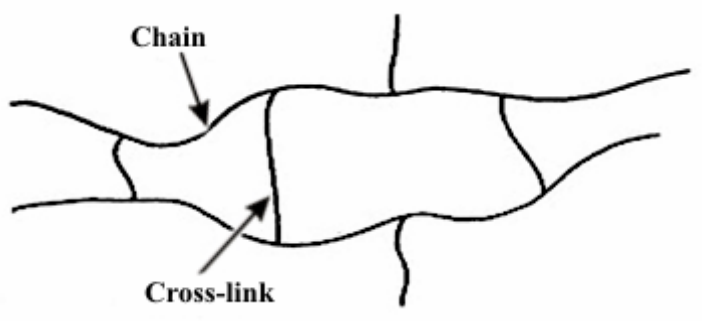


Gambar 2.10 Klasifikasi polimer sebagai matrik komposit
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994

a. Thermosets

Termoset (*thermosets*) dibentuk melalui reaksi kimia secara *in situ*, dimana resin dan pengeras (*hardener*) dicampur dalam satu tempat selanjutnya terjadilah proses pengerasan (polimerisasi). Kemudian polimer termoset terbentuk dengan jaringan

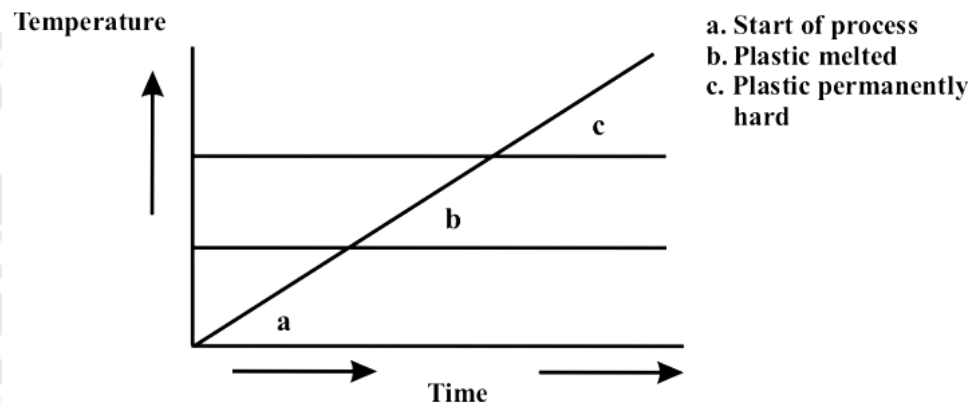
struktur molekul ikatan kovalen, dimana rantai-rantai molekul yang saling berhubungan membentuk struktur *crosslink* atau ikatan silang, sehingga walaupun mengalami pemanasan maupun penekanan, masing-masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif.



Gambar 2.11 Skema struktur rantai polimer termoset, *crosslink*
Sumber : Matthews Rawling, 1994

Sifat ikatan kimia resin ini adalah tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversible*) dengan bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi, oleh karena itu polimer termoset tidak dapat dibentuk berulang kali (*recycling*) bila sekali pengerasan telah terjadi. Meski demikian, pada temperatur tertentu terjadi perubahan sifat mekanik yang signifikan. Temperatur saat terjadi perubahan signifikan ini dikenal sebagai Temperatur Transisi Gelas (Tg). Diatas temperatur gelas tersebut, struktur molekul dari termoset berubah dari polimer kristal yang keras menjadi polimer yang lebih flexibel. Selain itu, modulus resin juga turun secara drastis sehingga daya tekan dan kekuatannya berkurang. Ketahanan terhadap air dan stabilitas warna juga berkurang pada saat suhu diatas temperatur gelas ini.

Meskipun polimer-polimer termoset tidak dapat dibentuk dan dicetak ulang seperti pada polimer termoplastik, namun polimer tersebut lebih tahan lama. Polimer termoset mempunyai sifat-sifat tidak larut dalam pelarut apapun, tidak meleleh jika dipanaskan, melainkan menjadi lebih keras ketika dipanaskan karena panas tersebut menyebabkan ikatan-ikatan silang lebih mudah terbentuk, lebih tahan terhadap asam dan basa, memiliki kekentalan (viskositas) yang rendah, serta lebih keras karena terbentuknya ikatan-ikatan silang (Campbell,1996). Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan polimer termoset, melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan untuk membuat alat-alat rumah tangga yang tahan panas. Dari sekian banyak resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang banyak digunakan, yaitu poliester, vinil ester, dan epoksi.



Gambar 2.12 Grafik hubungan temperatur – waktu, polimer *thermosets*
Sumber : Iman, 2005

Yang termasuk polimer termoset antara lain :

- ***Phenolic***

  Fenol (*Phenolic*) merupakan resin termoset pertama yang banyak digunakan di dalam dunia industri. Resin ini terbuat melalui reaksi antara fenol dan formaldehida dengan proses kondensasi. Karena memiliki struktur *crosslink* sehingga resin ini mempunyai sifat kekerasan yang tinggi, kekakuan yang baik dan kekuatan yang dikombinasikan dengan ketahanan panas, ketahanan kimia serta kemampuan isolasi listrik yang baik.

  Resin fenol memiliki sifat asam lemah dan bereaksi dengan NaOH, memiliki kestabilan dimensi yang baik, serta tingginya resistansi terhadap kelembapan dan cuaca, yang selanjutnya berguna dalam penggunaan pada konstruksi luar. Material ini banyak digunakan sebagai; *telephone relay system*, pada otomotif digunakan sebagai *component brake*, *knobs*, dan *panel appliance*.

- ***Polyurethane***

  Poliuretan (*polyurethane*) diperoleh dari reaksi pencampuran antara *prepolymer* dengan *glycol* dengan berat molekul rendah atau *diamines* hingga membentuk segmen yang keras. Resin poliuretan ini terdapat dalam berbagai bentuk, seperti busa lentur, busa keras, pelapis anti bahan kimia, bahan perekat, dan penyekat.

  Busa keras poliuretan digunakan sebagai bahan penyekat pada gedung, pemanas air, alat transport berpendingin, serta pendigin untuk industri maupun rumah tangga. Busa lentur polyurethane digunakan sebagai bahan

pelembut pada karpet dan kain pelapis furniture, kasur, dan mobil. Perekat dan penyekat poliuretan digunakan dalam kontruksi, transportasi, kapal, dan kegunaan lain yang membutuhkan kekuatan, tahan lembab, serta sifat tahan lama dari polyurethane tersebut.

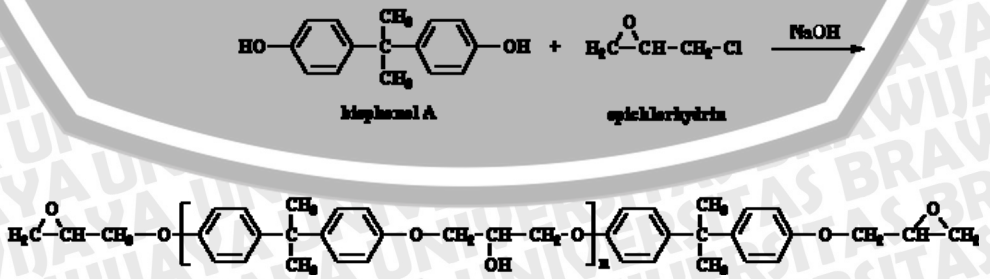
- ***Polyester***

  Poliester (*polyester*) terbentuk secara kondensasi menghasilkan *polyethylene terephtalate* (PET) yang merupakan suatu ester dari komponen dasar asam dan alkohol yaitu asam *terephtalate* dan *etylene glycol*. Resin poliester bersifat tidak beracun, kuat, liat, dimensinya stabil, tahan terhadap bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrikal yang baik. Selain itu, resin poliester memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air.

  Resin poliester dikembangkan secara luas sebagai plastik dengan *reinforcement* berupa serat (FRC) khususnya pada industri pesawat terbang, komponen otomotif, konstruksi bangunan, dan perkapalan. Karena poliester berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti kebanyakan resin termoset lainnya, maka resin polyester tidak perlu diberi tekanan untuk pencetakannya.

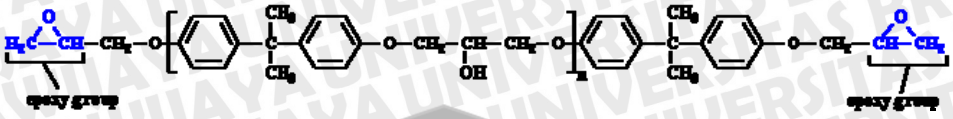
- ***Epoxy***

  Bisphenol A dan *epichlorhydrin* sering dipakai sebagai bahan dasar untuk pembuatan resin epoksi (*epoxy*). Senyawa yang terbentuk disebut *diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA),* karena mengandung dua gugus *diglycidyl ether* per molekul. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.13 sebagai berikut :



Gambar 2.13 Pembentukan epoksi oleh reaksi *bisphenol A* dengan *epichlorhydrin*
Sumber : http://www.pslc.ws/macrog/epoxy.htm

Epoksi didefinisikan sebagai molekul yang mengandung lebih dari satu *epoxy group*. *Epoxy group* ini biasa disebut, *oxirane* atau *ethoxyline group*, yang strukturnya ditunjukkan pada Gambar 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Struktur *epoxy group*
Sumber : http://www.pslc.ws/macrog/epoxy.htm

Tabel 2.1 *Typical properties* dari resin epoksi

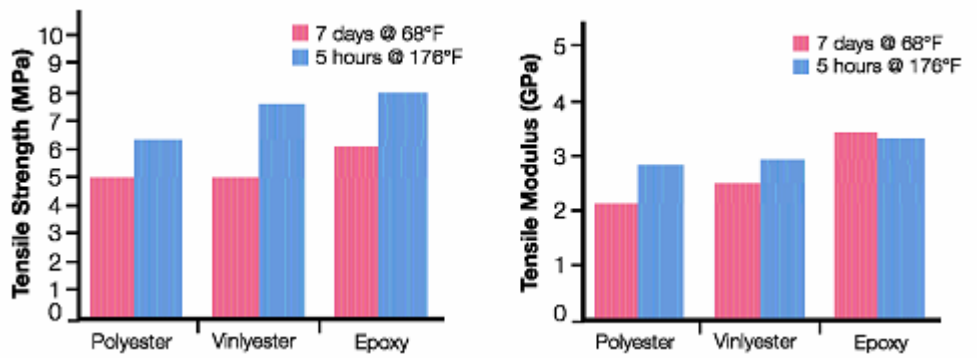
Property	Value
Density (g/cm^3)	1.2
Tensile Strength (MPa)	35
Elastic Modulus (GPa)	30
Linear Expansion (/°C x 10^{-5})	6
Elongation at Break (%)	40
Konduktivitas Thermal (W/m°K)	0.21
Max. Operating Temp. (°C)	130
Water Absorption (%)	0.3
Volume Resistivity (log ohm.cm)	15
Dielectric Strength (MV/m)	16
Dielectric Constant 1kHz	3.5
Mould Shrinkage (%)	0.5

Sumber : http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=651

Pada penelitian ini resin yang digunakan adalah jenis epoksi. Pemilihan resin epoksi sebagai bahan dasar disebabkan kekuatan dan kekakuan resin epoksi relatif lebih besar dibandingkan dengan polimer jenis lainnya. Resin epoksi memiliki karakteristik listrik yang bagus, tahan terhadap bahan kimia, stabilitas dimensi yang baik, ketahanan termal yang tinggi, daya penyusut yang rendah, perekat yang bagus untuk banyak bahan logam, tahan terhadap kelembaban udara dan tahan terhadap tekanan, serta mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu. Karena resin epoksi tahan aus

dan tahan kejut, bahan ini kini banyak digunakan untuk membuat cetakan tekan untuk pembentukan logam.

Resin epoksi mempunyai kegunaan yang luas dalam aplikasi-aplikasi listrik dan elektronik, industri teknik kimia, mekanik dan sipil sebagai perekat, bahan pengaspal jalan raya, cat pelapis, serta pencetakan cor dan benda-benda cetakan karena sifatnya yang lebih unggul dibandingkan dengan resin lainnya. Keunggulan resin epoksi dari resin lainnya dapat dilihat pada perbandingan kekuatan dan tingkat kekakuan antar polimer-polimer resin yang ditunjukkan pada Gambar 2.15 dibawah ini.



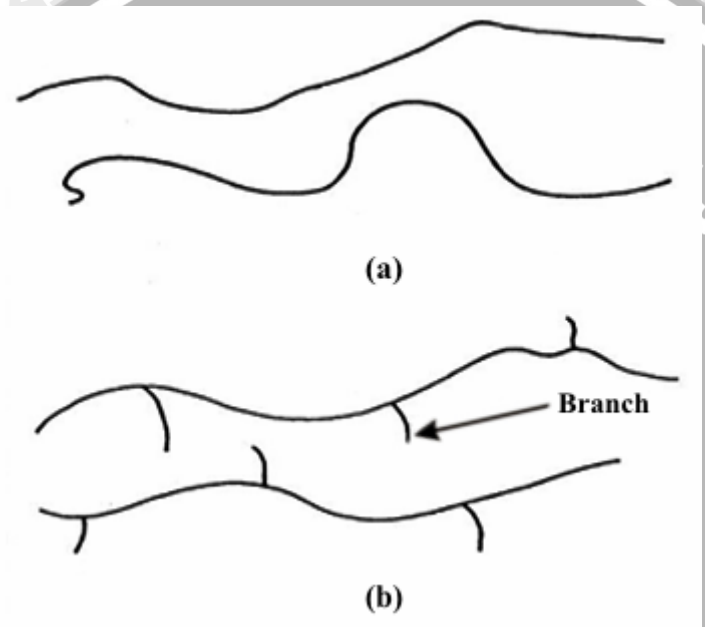
Gambar 2.15 Perbandingan daya rentang dan kekakuan dari *polyester*, *vinylester*, dan *epoxy*
Sumber : http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=997

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa proses pengerasan terjadi jika resin epoksi dicampurkan dengan pengeras (*harderner*). Pengerasan terjadi karena pencampuran keduanya membentuk ikatan silang (*crosslink*) yang kuat. Resin epoksi mengeras lebih cepat pada selang temperatur antara 5°C sampai 150°C. Namun, hal ini bergantung pula pada jenis *hardener* maupun katalis yang digunakan.

Hardener mempunyai jenis yang cukup banyak, sedangkan penggunaannya bergantung pada kebutuhan kita. Zat yang biasa dipakai sebagai *hardener* antara lain *amines, polyamides, phenolic, anhydrides, isocyanates* dan *polymercaptans*. Pemilihan resin dan *hardener* bergantung pada aplikasi, pemilihan proses, dan sifat material yang diinginkan. Stoikiometri dari *epoxy-hardener* juga berpengaruh pada material yang dihasilkan. Jenis *amines* dan *phenolic*, merupakan *hardener* yang paling banyak digunakan untuk *epoxy resin*.

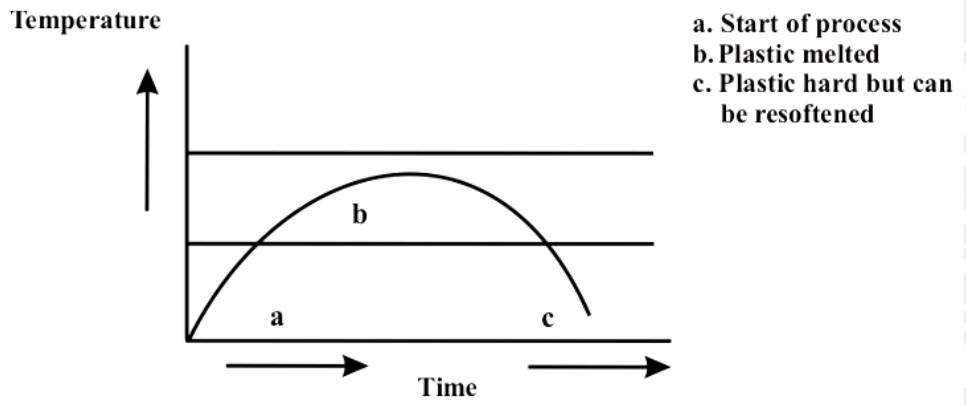
b. Thermoplastics

Termoplastik (*thermoplastics*) merupakan material yang mempunyai sifat mampu bentuk cukup baik, artinya dapat dilunakkan berulang kali (*recycling*) dengan menggunakan panas. Termoplastik merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. Jika dipanaskan, polimer ini memiliki kemampuan untuk mencair kembali (Osswald and Menges, 1996). Polimer termoplastik mempunyai struktur *linear* dan struktur *branched* antara monomer-monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya menjadi relatif rendah.



Gambar 2.16 Skema struktur rantai polimer termoplastik,
(a) *liniar* dan (b) *branched*
Sumber : Matthews Rawling, 1994

Polimer termoplastik meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya yaitu mengeras bila didinginkan, sehingga memungkinkan untuk didaur ulang dan dibentuk ulang serta mengalami perubahan sifat-sifat mekanik yang jelas pada rentang temperatur tertentu yang sangat sempit. Temperatur di mana terjadi transisi temperatur tersebut dikenal sebagai temperatur gelas, Tg (*Glass Temperature*). Pada temperatur gelas, termoplastik berubah keadaaan dan perilakunya dari kaku, getas, padat seperti gelas menjadi fleksibel, lunak, elastis, seperti fluida (visko-elastik). Besarnya tempertur gelas (Tg) tergantung pada struktur rantai molekul polimer yang umumnya sekitar 2/3 dari titik leburnya.



Gambar 2.17 Grafik hubungan temperatur – waktu, polimer *thermoplastics*
Sumber : Iman, 2005

Yang termasuk polimer termoplastik antara lain :

- ***Polyethylene* (PE)**

  Polietilen (*polyethylene*) adalah polimer dari monomer *ethylene* yang dibuat dengan proses polimerisasi adisi dari gas *ethylene* yang diperoleh dari hasil samping industri minyak dan batubara. Resin polietilen merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan dan kekuatan sobek yang baik. Pemanasan polietilen akan menyebabkan plastik ini menjadi lunak dan cair pada suhu 110°C. Sifat permeabilitasnya yang rendah dan sifat mekaniknya yang baik, maka polietilen dengan ketebalan 0.001 - 0.01 inchi banyak digunakan untuk mengemas bahan pangan.

  Berdasarkan densitasnya, maka resin *polyethylene* dapat digolongkan menjadi *Low Density Polyethylene* (*LDPE*) yang mempunyai massa jenis antara 0,910 - 0,926 g/cm^3, *Medium Density Polyethylene* (*MDPE*) yang mempunyai massa jenis antara 0,926 - 0,940 g/cm^3 dan *High Density Polyethylene* (*HDPE*) yang mempunyai massa jenis 0,941 - 0,965 g/cm^3. Penggunaan resin polietilen meliputi berbagai aplikasi dalam industri seperti lapisan pengemas, pipa, botol-botol, isolator kabel listrik.

- ***Polypropylene* (PP)**

  Polipropilen (*polypropylene*) merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Propilena mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Sifat-sifat polipropilen serupa dengan sifat *polyethylene*. Massa jenisnya rendah. Termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer lainnya. Resin polipropilen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang

rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap.

Resin ini mempunyai titik leleh yang cukup tinggi, antara 190°C - 200°C. Sedangkan titik kristalisasinya antara 130°C - 135°C. Resin polipropilen mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*hemical resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah. Penggunaan resin polipropilen meliputi berbagai aplikasi dalam industri seperti tekstil, kemasan makanan, karpet, peralatan laboratorium, komponen otomotif, dan lain sebagainya.

- ***Polystyrene* (PS)**

  Polistiren (*polystyrene*) merupakan hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena, dimana monomer *styrene*-nya didapat dari hasil proses dehidrogenisasi dari etil *benzene* (dengan bantuan katalis), sedangkan etil *benzene*-nya sendiri merupakan hasil reaksi antara *ethylene* dengan *benzene* (dengan bantuan katalis). Resin polistiren mempunyai sifat tidak berwarna dan merupakan resin transparan dapat diwarnai secara bening, mudah dalam pengerjaannya, murah biayanya, sedikit menyerap air tetapi strukturnya rapuh serta memiliki tahanan panas dan kimia yang rendah. Resin ini mempunyai massa jenis lebih rendah dari *polyethylene* dan *polypropylene*. Memiliki sifat listrik yang baik sekali terutama bagi frekuensi tinggi.

  Resin polistiren dibuat dalam berbagai grade yang dapat digunakan untuk membuat produk jadi. Pemilihan grade sangat penting dan disesuaikan dengan produk jadinya. Grade-grade resin polistiren yang umum dipakai adalah : *general purpose*, *light stabilized*, *heat resistance*, *impact grade*.

- ***Polycarbonate* (PC)**

  Polikarbonat (*polycarbonate*) merupakan *engineering plastic* yang dibuat dari reaksi kondensasi *bisphenol A* dengan fosgen (*phosgene*) dalam media alkali. Resin polikarbonat mempunyai sifat jernih seperti air, *impact strength*-nya sangat bagus, ketahanan terhadap pengaruh cuaca bagus, suhu penggunaannya tinggi, mudah diproses, *flameabilitas*-nya rendah.

  Untuk menghasilkan produk-produknya melalui proses dengan teknik pengolahan *thermoplastic* pada umumnya, yaitu: cetak injeksi, ekstruksi, cetak tiup, dan *structural foam moulding*. Dalam bidang mekanik digunakan secara luas untuk helm, roda gigi, komponen kapal laut, *boat propeler*.

- ***Nylon***

  Nilon (*Nylon*) merupakan istilah yang sering digunakan terhadap poliamida, mempunyai sifat-sifat dapat dibentuk serat, film dan plastik. Struktur nilon ditunjukkan oleh gugus amida yang berkaitan dengan unit hidrokarbon ulangan yang panjangnya berbeda-beda dalam suatu polimer. Poliamida diperoleh dengan cara kondensasi polimer dari asam amino atau diamina dengan asam dua karboksilat. Asam amino dan asam karboksilat mempunyai jenis yang beragam, sehingga nilon yang dihasilkan juga berbagai macam.

  Resin ini mempunyai sifat keras, kuat dan unggul dalam pelumasan, berwarna cream, sedikit tembus cahaya, ketahanan abrasi dan ketahanan kimia yang baik, tetapi akibat sifat serap airnya, maka kestabilan dimensinya dan kestabilan listriknya kurang baik. Tehnik pengolahan nilon yang utama adalah cetak injeksi dan ekstrusi. Tehnik lain seperti cetak tiup, *rotational moulding* dan *reaction injection moulding*. Penggunaan nilon antara lain membuat gelondong benang, perkakas tenun, peralatan dapur, komponen motor, gear, bantalan, dan sebagainya.

c. Rubbers

Polimer *rubber* atau karet atau ada juga yang menyebut *elastomer*, merupakan material polimer yang dimensinya dapat berubah secara signifikan apabila diberi suatu beban atau tegangan dan kembali ke dimensi awal ketika beban atau tegangan tersebut dihilangkan (Smith, 2004). Sifat ini dikenali sebagai kekenyalan (*elasticity*). Hal ini disebabkan karena karet memiliki daerah elastis non linear yang sangat besar yang disebabkan oleh adanya sambungan-sambungan antar rantai (*cross-links*) yang berfungsi sebagai 'pengingat bentuk' (*shape memory*) (Rahmat, 2008).

Karet merupakan polimer alam yang terpenting dan dipakai secara luas. Bentuk utama dari karet alam, terdiri dari 97% cis-1,4-poliisoprena, dikenal sebagai *hevea rubber*. Karet ini diperoleh dengan menyadap kulit sejenis pohon (*hevea brasiliensis*) yang tumbuh liar. Hampir semua karet alam diperoleh sebagai lateks yang terdiri dari sekitar 32% – 35% karet dan sekitar 5% senyawa lain, termasuk asam lemak, gula, protein, sterol, ester dan garam.

Untuk meningkatkan karakteristiknya diberbagai keperluan penggunaan karet, maka hampir semua jenis karet harus dilakukan proses *vulkanized,* yaitu suatu proses

yang pada intinya merubah rantai panjang molekul menjadi rantai *cross-link* dengan penambahan sulfur yang tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya. Kekerasan dan kekakuan dari karet alam akan meningkat dengan proses vulkanisasi. Karet alam dengan jumlah ikatan silang sedikit akan bersifat relatif lebih lunak dan fleksibel.

2.3.2 Logam

Penggunaan logam sebagai matrik dalam pembuatan komposit (*Metal Matrix Composites* – MMC), menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik jika dibandingkan dengan logam monolitik, karena logam yang digunakan dikembangkan untuk memperbaiki sifat logam; kekuatan pada temperatur tinggi, kekerasan, tahanan listrik, dan kestabilan pada temperatur tinggi. Komposit matrik logam kebanyakan di aplikasikan pada mesin turbin gas, mesin roket, piston mesin, peralatan temperatur tinggi, struktur luar angkasa, dan paket-paket elektronik (Urquhart, 1991).

Logam yang sering digunakan sebagai matrik dalam komposit matrik logam antara lain : alumunium, magnesium, titanium, tembaga. Tetapi kebanyakan pembuatan komposit matrik logam berbasis Alumunium dan paduannya. Sedangkan untuk *reinforcement* dapat menggunakan carbon, boron, alumina, maupun SiC. Kombinasi antara matrik dan *reinforcement* pada komposit matrik logam bertujuan untuk meningkatkan kekakuan spesifik, kekuatan spesifik, kekerasan, kekuatan lelah, ketahanan aus, ketahanan abrasi, ketahanan mulur dan konduktivitas panas yang tinggi serta stabilitas dimensionalnya (Weeton, 1987). Komposit matrik logam ini jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan komposit matrik polimer, sehingga penggunaanya sangat terbatas.

2.3.3 Keramik

Penggunaan keramik sebagai matrik dalam pembuatan komposit (*Ceramic Matrix Composites* – CMC), menjadi salah satu material yang terus menerus dikembangkan dan disempurnakan sifat-sifatnya. Keramik merupakan bahan alternatif pengganti logam yang potensial. Salah satu alasan dalam pengembangan komposit dengan matrik keramik karena kemampuannya untuk memberikan sifat yang bisa diaplikasikan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi.

Aluminium merupakan logam komersial yang ulet dan SiC merupakan keramik yang memiliki kekerasan yang sangat tinggi. Penggabungan keduanya menjadi produk komposit matrik keramik termasuk masih jarang dilakukan. Kombinasi antara matrik

dan *reinforcement* pada komposit matrik keramik bertujuan untuk meningkatkan ketangguhannya, karena matrik keramiknya sangat getas (*brittle*) sehingga mudah mengalami perpatahan (Matthews and Rawlings, 1994). Komposit matrik keramik ini jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan komposit matrik polimer dan susah diproduksi dalam jumlah yang besar, sehingga penggunaanya terbatas untuk kasus-kasus tertentu.

2.4 Penguat (*reinforcement*)

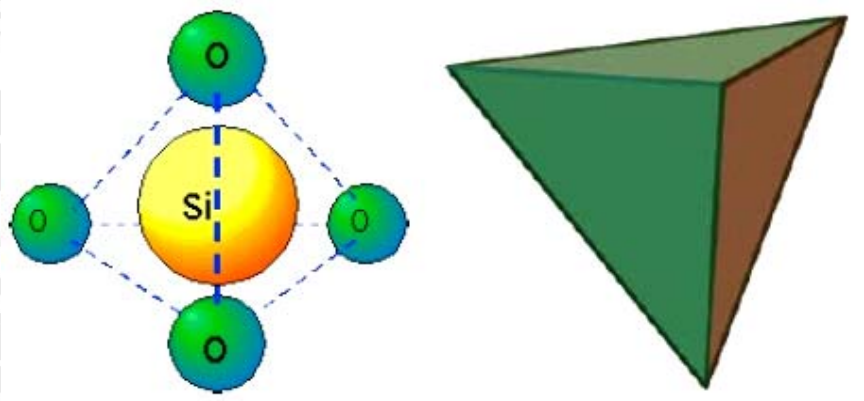
Penguat (*Reinforcement*) atau disebut juga material pengisi (*filler*) merupakan komponen terpenting di dalam material komposit sebagai penanggung beban utama yang bertujuan untuk memodifikasi sifat mekanik maupun elektrik, sifat fisik, sifat kimia, dan meningkatkan kemampuan pemrosesan, serta untuk mengurangi ongkos produksi (Carter, 1991).

Mekanisme *Reinforcement* dalam meningkatkan kekuatan adalah dengan membatasi pergerakan rantai polimer. Perpaduan antara matrik dan *reinforcement* akan menghasilkan sifat material yang tidak dimiliki masing-masing ketika sebelum digabungkan. Bentuk material penguat dapat berupa partikel atau serat.

2.4.1 Silikon Dioksida

Silikon dioksida (SiO_2) atau biasa juga disebut silika merupakan senyawa yang umum ditemui dalam kehidupan sehari-hari dan banyak digunakan sebagai bahan baku industri elektronik. Silikon dioksida pada umumnya ditemukan dialam dalam batu pasir, pasir *silica* atau *quartzite*. Zat ini merupakan material dasar pembuatan kaca dan keramik. Silika merupakan salah satu material oksida yang keberadaannya berlimpah di alam, khususnya di kulit bumi. Pasir di pantai juga banyak mengandung silika. Keberadaanya bisa dalam bentuk amorf maupun kristal. Ada tiga bentuk kristal silika, yaitu *quartz*, *tridymite*, *cristobalite*, dan terdapat dua kristal yang merupakan perpaduan dari bentuk kristal tadi.

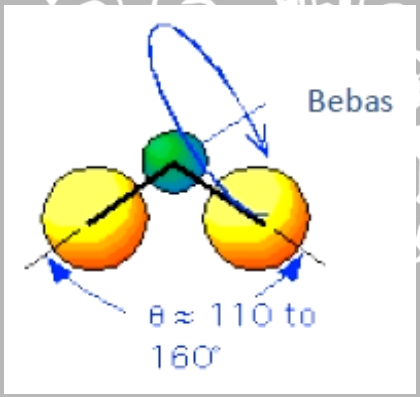
Silikon dioksida terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, serta memiliki struktur lokal yang jelas, empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Berikut ini merupakan gambar struktur lokal dari silikon dioksida :



Gambar 2.18 Struktur lokal silikon dioksida
Sumber : Risa, 2009

Atom oksigen bersifat elektronegatif dan kerapatan elektron pada atom silikon sebagian ditransfer pada atom oksigen, tetapi tidaklah tepat jika silika dikatakan sebagai garam yang terdiri dari ion Si^{4+} dan ion O^{2-}, yang terkadang banyak ditemukan dalam beberapa literatur.

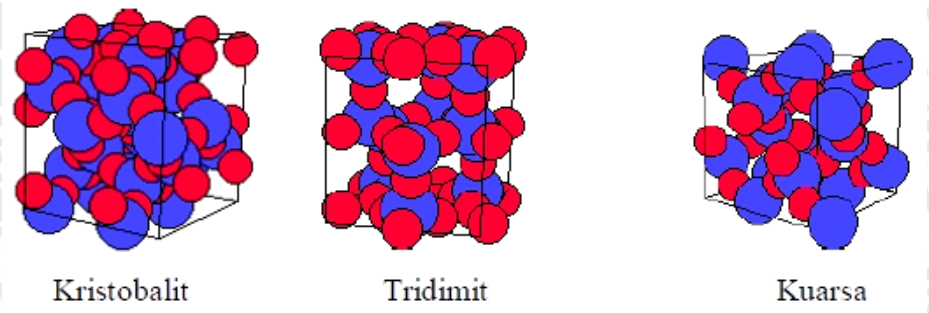
Silikon dioksida memiliki ikatan yang disebut "jembatan" oksigen yang terdapat diantara atom silikon, hal inilah yang memberikan sifat unik pada silikon dioksida. Sudut ikatan pada Si-O-Si sekitar 145°, akan tetapi nilai tersebut sangat bervariasi antara 100° - 170° yang dipengaruhi oleh perubahan energi ikatan, sehingga sangat memungkinkan terjadinya rotasi ikatan secara bebas.



Gambar 2.19 Sudut ikatan Si-O-Si
Sumber : Risa, 2009

Struktur silikon dioksida terbentuk melalui kelompok-kelompok SiO_4 yang saling berikatan melalui atom oksigen pada sudut-sudut tetrahedralnya, ikatan ini dapat terbentuk dalam berbagai variasi sudut. Variasi sudut yang terbentuk sangat memungkinkan terbentuknya struktur kristalin yang berbeda-beda pada silikon dioksida, dan dapat dengan mudah membentuk struktur amorfous.

Silikon dioksida memiliki 35 bentuk kristalin dengan berbagai kerapatan yang berbeda-beda. Beberapa bentuk kristalin dari silikon dioksida tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.20 dibawah ini.



Gambar 2.20 Beberapa bentuk unit kristal SiO_2
Sumber : Risa, 2009

Tabel 2.2 Perbedaan sifat fisis diantara bentuk-bentuk kristal

Phase	Density (g/cm^3)	Thermal expansion (10^{-6} K^{-1})
Quartz	2.65	12.3
Tridymite	2.3	21
Cristobalite	2.2	10.3

Sumber : http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1114

Silikon dioksida tidak mempunyai sifat basa, tidak mengandung ion oksida dan tidak bereaksi dengan asam. Sebaliknya, silikon dioksida merupakan asam yang sangat lemah, bereaksi dengan basa kuat. Sifat fisis silikon dioksida lainnya adalah :

- ✓ Tidak menghantarkan listrik, baik dalam bentuk padatan maupun dalam bentuk cairannya. Tidak terdapat elektron yang terdelokalisasi. Semua elektron terikat kuat diantara atom-atomnya, dan tidak bebas bergerak.
- ✓ Memiliki titik leleh yang tinggi, sangat bervariasi tergantung pada penyusun strukturnya, tetapi sekitar 1700°C. Silikon dioksida mendidih pada suhu sekitar 2230°C.
- ✓ Keras, karena itu dibutuhkan pemutusan ikatan kovalen antara atom silikon-oksigen yang sangat kuat.
- ✓ Tidak larut dalam air dan pelarut organik. Tidak terdapat daya tarik yang memungkinkan antara molekul pelarut dan atom silikon atau oksigen untuk dapat melampaui kekuatan ikatan kovalen pada struktur raksasa.

Tabel 2.3 Beberapa sifat fisis SiO_2

Material	Quartz	Fused silica
Density (g/cm^3)	2.65	2.2
Thermal conductivity (Wm^{-1} K)	1.3	1.4
Thermal expansion coeff. (10^{-6} K^{-1})	12.3	0.4
Tensile strength (MPa)	55	110
Compressive strength (MPa)	2070	690 - 1380
Melting point (°C)	1830	1830
Boiling point (°C)	2230	2230
Modulus of elasticity (GPa)	70	73
Thermal shock resistance	Excellent	Excellent
Permittivity (ε')	3.8-5.4	3.8
Dielectric field strength (kV/mm)	15.0 - 25.0	15.0 - 40.0
Resistivity (Wm)	1012-1016	>10^{18}

Sumber : http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1114

Penggunaan silikon dioksida meliputi berbagai bidang dalam kehidupan. Dalam bentuknya sebagai pasir dan tanah liat, dapat digunakan untuk membuat bahan bangunana seperti batu bata. Selain itu, juga berguna sebagai bahan tungku pemanas dan dalam bentuk silikat digunakan untuk membuat *enamels* (tambalan gigi), untuk bahan campuran obat-obatan, pot-pot tanah liat, dan sebagainya. Silika sebagai pasir merupakan bahan utama gelas. Gelas dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk dan digunakan sebagai wadah, jendela, insulator, dan aplikasi-aplikasi lainnya.

2.5 Katalis

Katalis merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada saat pencampuran matrik dengan *reinforcement* yang bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan. Waktu yang dibutuhkan resin untuk berubah menjadi plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan. Dalam penelitian ini mengunakan katalis *Metyl Ethyl Keton Peroxide* (MEKPO) yang berbentuk cair, berwarna bening. Semakin banyak katalis yang ditambahkan maka makin cepat pula proses *curringnya*. Tetapi apabila pemberian katalis berlebihan akan menghasilkan material yang getas ataupun resin bisa terbakar.

Penambahan katalis yang baik 1% dari volume resin. Bila terjadi reaksi akan timbul panas antara 60°C – 90°C. Panas ini cukup untuk mereaksikan resin sehingga diperoleh kekuatan dan bentuk plastik yang maksimal sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan.

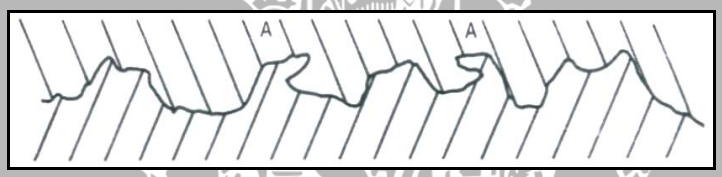
2.6 Teori Ikatan Matrik dan Penguat

Ketika matrik melapisi dan melekat pada permukaan *reinforcement*, terjadi ikatan antara permukaan matrik dan *reinforcement*.

Terdapat beberapa macam ikatan yang terbentuk, antara lain :

a. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

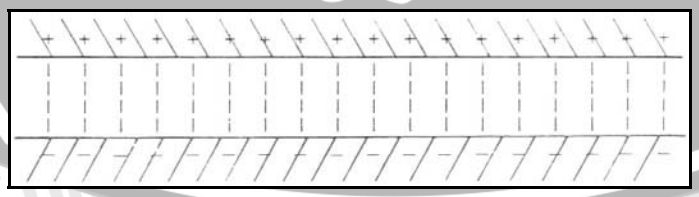
Matrik cair akan menyebar ke seluruh permukaan *reinforcement* dan mengisi setiap lekuk serta permukaan *reinforcement* yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*) seperti pada Gambar 2.21 dan semakin kasar permukaan *reinforcement* maka semakin kuat ikatan yang terbentuk.



Gambar 2.21 *Mechanical bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994

b. Ikatan elektrostatik (*Electrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22 terjadi antara matrik dan *reinforcement* ketika salah satu permukaan mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.

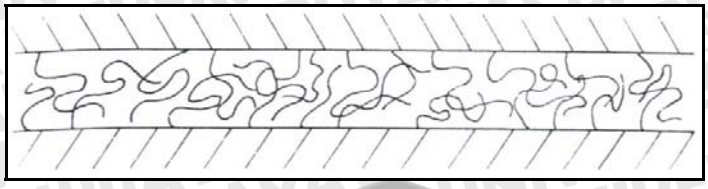


Gambar 2.22 *Electrostatic bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994

c. Ikatan reaksi (*Reaction bonding*)

Atom atau molekul dari dua komponen dalam komposit dapat bereaksi pada permukaannya sehingga terjadi ikatan reaksi (Gambar 2.23). Ikatan ini akan membentuk

lapisan permukaan (*interfacial layer*) yang mempunyai sifat yang berbeda dari kedua komponen tersebut.



Gambar 2.23 *Reaction bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994

2.7 Metode Pembuatan Komposit

Dalam pembuatan komposit diperlukan suatu cetakan dimana cetakan itu harus bersih dari kotoran dan permukaannya halus. Untuk bahan cetakannya dapat digunakan dari logam, kayu, gips, maupun kaca. Pada pembuatan komposit harus diperhatikan metode yang digunakan, dimaksudkan agar memperoleh produk akhir sesuai dengan karakteristik yang diinginkan.

Terdapat tiga macam metode yang dapat digunakan untuk membuat komposit (Advani, 2003), antara lain :

1. ***Injection Molding***

   Injection molding merupakan metode yang paling sering dan banyak digunakan dalam proses manufaktur komponen resin termoset yang diperkuat serat atau partikel dalam jumlah yang besar. Resin dan material *reinforcement* yang akan digunakan sebagai komposit dimasukkkan dan dipanaskan dalam *rotating screw*, fungsi *screw* sebagai pencampur antara *reinforcement* dan resin, campuran resin dan *reinforcement* dalam keadaan cair kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan yang telah disediakan.

   Proses pencetakan injeksi plastik banyak digunakan untuk membuat berbagai jenis produk plastik mulai dari peralatan rumah tangga sampai dengan komponen-komponen mesin perkakas.

2. ***Compression Molding***

   Prinsip dalam pembuatan komposit dengan metode *compression molding* sangat sederhana. Material yang akan digunakan untuk membuat komposit diletakkan didalam cetakan, kemudian cetakan ditutup dan diberikan tekanan. Dengan adanya tekanan tersebut, material yang dimaksud akan berubah bentuk mengikuti bentuk cetakan ketika cetakan dibuka.

3. ***Extrusion***

Extrusion hampir sama dengan proses *injection molding* karena sama-sama terdapat *screw* yang berfungsi sebagai pencampur antara *reinforcement* dan resin, dimana campuran resin dan *reinforcement* dalam keadaan cair kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan yang telah disediakan.

Perbedaan utama pada proses *extrusion* yaitu cetakan tidak tertutup seperti pada *injection molding*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan komposit polimer, antara lain :

- ***Gelling Time***

  Gelling time merupakan waktu yang dibutuhkan matrik komposit untuk menjadi kental (hampir menjadi padat). *Gelling time* dipengaruhi oleh besar temperatur dan katalisnya.

- ***Curing Time***

  Curing time merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu matrik menjadi kering dan padat. *Curing time* dapat dipercepat dengan pemanasan maupun penambahan katalis.

2.8 Karakterisasi Komposit

2.8.1 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan tegangan atau beban tarik dari luar, dinyatakan oleh banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang berubah tergantung pada laju tegangan.

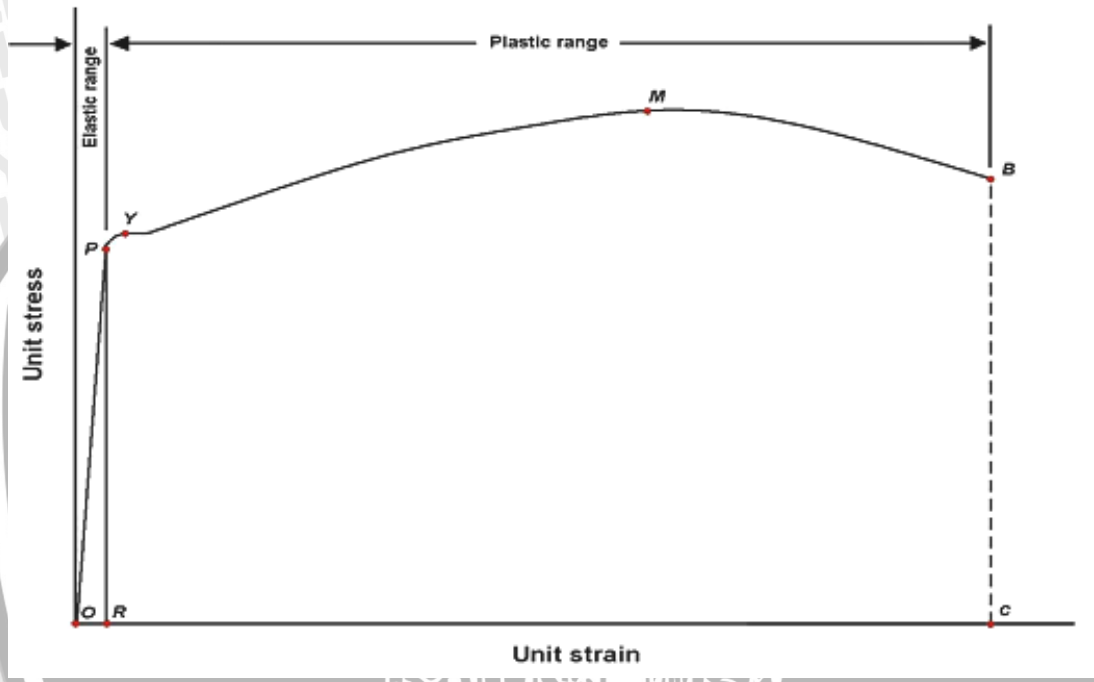
Pengujian tarik merupakan pengujian statis pada material padatan (logam dan non-logam) yang dilakukan dengan cara pemberian gaya tarik yang arahnya tegak lurus penampang. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.24. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan mendapatkan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku mekanik material serta karakteristik perpatahan terhadap pembebanan mekanis.

Informasi penting yang bisa didapat dari hasil pengujian kekuatan tarik diantaranya adalah :

a. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)

Merupakan daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proporsional dalam hubungan linier $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{E\varepsilon}$ (bandingkan dengan hubungan $\boldsymbol{y} = \boldsymbol{mx}$; dimana $\boldsymbol{y}$ mewakili tegangan; $\boldsymbol{x}$ mewakili regangan dan $\boldsymbol{m}$ mewakili *slope* kemiringan dari modulus kekakuan).

Titik P pada Gambar 2.24 menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan-regangan.



Gambar 2.24 Kurva tegangan-regangan dari material yang bersifat ulet
Sumber : Yuwono, 2009

b. Batas elastis (*elastic limit*)

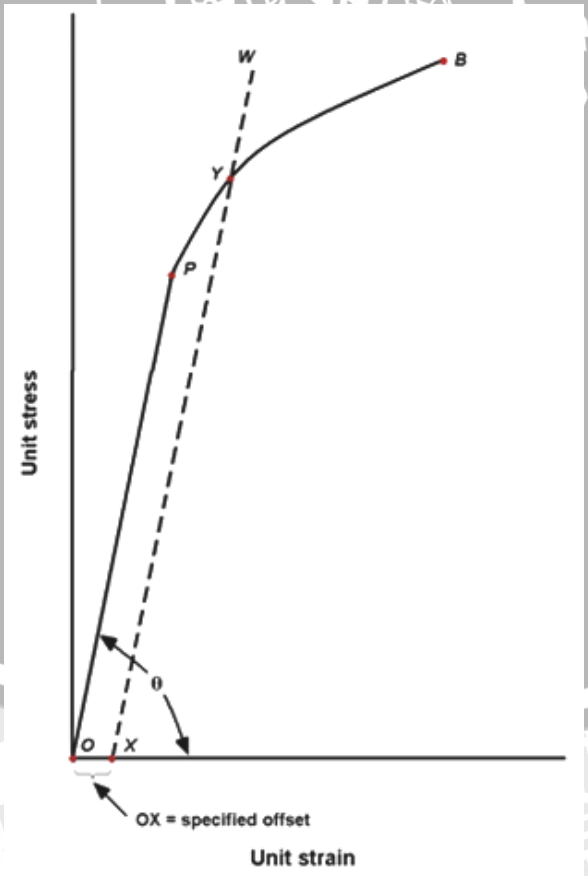
Daerah elastis adalah daerah dimana material akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bagian dari batas elastis ini. Selanjutnya bila material terus diberikan tegangan (deformasi dari luar) maka batas elastis akan terlampaui pada akhirnya, sehingga material tidak kembali kepada ukuran semula.

Dengan kata lain dapat didefinisikan bahwa batas elastis merupakan suatu titik dimana tegangan yang diberikan akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen (plastis) pertama kalinya. Kebanyakan material teknik memiliki batas elastis yang hampir berimpitan dengan batas proporsionalitasnya.

c. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)

Titik ini merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Titik luluh ditunjukkan oleh titik Y pada Gambar 2.24 di atas. Sedangkan gejala luluh pada umumnya hanya ditunjukkan oleh material ulet dengan struktur kristal BCC dan FCC yang membentuk *interstitial solid solution* dari atom-atom karbon, boron, hidrogen maupun oksigen.

Untuk menentukan kekuatan luluh material, maka digunakan suatu metode yang dikenal sebagai *Metode Offset*. Dengan metode ini kekuatan luluh (*yield strength*) ditentukan sebagai tegangan dimana material memperlihatkan batas penyimpangan (deviasi) tertentu dari proporsionalitas tegangan dan regangan . Pada Gambar 2.25 di bawah ini garis offset OX ditarik paralel dengan OP, sehingga perpotongan XW dan kurva tegangan-regangan memberikan titik Y sebagai kekuatan luluh. Umumnya garis offset OX diambil 0,1 – 0,2% dari regangan total dimulai dari titik O.



Gambar 2.25 Kurva tegangan – regangan dari material yang bersifat getas
Sumber : Yuwono, 2009

Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran kemampuan material menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan bending atau puntiran.

d. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum $\boldsymbol{\sigma_{uts}}$ ditentukan dari beban maksium $\boldsymbol{F_{maks}}$ dibagi luas penampang awal $\boldsymbol{A_o}$.

$$\sigma_{uts} = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}2)$$

dimana :

σ_{uts} = Kekuatan tarik maksimum (N/mm^2)

F_{maks} = Beban maksimum (N)

A_o = Luas penampang awal spesimen (mm^2)

Pada material ulet, tegangan maksimum ditunjukkan oleh titik M (Gambar 2.24) dan selanjutnya material akan terus berdeformasi hingga titik B. Sedangkan material yang bersifat getas memberikan perilaku yang berbeda dimana tegangan maksimum sekaligus tegangan perpatahan (titik B pada Gambar 2.25). Dalam kaitannya dengan penggunaan struktural maupun dalam proses *forming* material, kekuatan maksimum adalah batas tegangan yang sama sekali tidak boleh dilewati.

e. Kekuatan putus (*breaking strength*)

Kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus ($\boldsymbol{F_{breaking}}$) dengan luas penampang awal $\boldsymbol{A_o}$. Untuk material yang bersifat ulet pada saat beban maksimum M terlampaui dan material terus terdeformasi hingga titik putus B maka terjadi mekanisme penciutan (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada material ulet kekuatan putus adalah lebih kecil daripada kekuatan maksimum sementara pada bahan getas kekuatan putus adalah sama dengan kekuatan maksimumnya.

f. Keuletan (*ductility*)

Keuletan merupakan suatu sifat yang menggambarkan kemampuan material menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan. Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran keuletan bahan yaitu :

- Persentase perpanjangan (*Elongation*)

  Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

$$Elongation,\ \varepsilon\ (\%) = \left[\frac{L_f - L_0}{L_0}\right] x100\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}3)$$

dimana :

L_f = Panjang akhir dari spesimen (mm)

L_o = Panjang awal dari spesimen (mm)

- Persentase pengurangan (*Area Reduction*)

  Diukur sebagai pengurangan luas penampang (*cross-section*) setelah perpatahan terhadap luas penampang awalnya.

$$Area\ Reduction,\ R\ (\%) = \left[\frac{A_0 - A_f}{A_0}\right] x100\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}4)$$

dimana :

A_f = Luas penampang akhir dari spesimen (mm^2)

A_o = Luas penampang dari spesimen (mm^2)

g. Modulus elastisitas (*E*)

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*).

Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.24 dan Gambar 2.25), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari *slope* kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ atau } E = \tan\alpha \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}5)$$

dimana :

E = Modulus elastisitas (kN/mm^2)

σ = Tegangan tarik (N/mm^2)

ε = Elongasi (%)

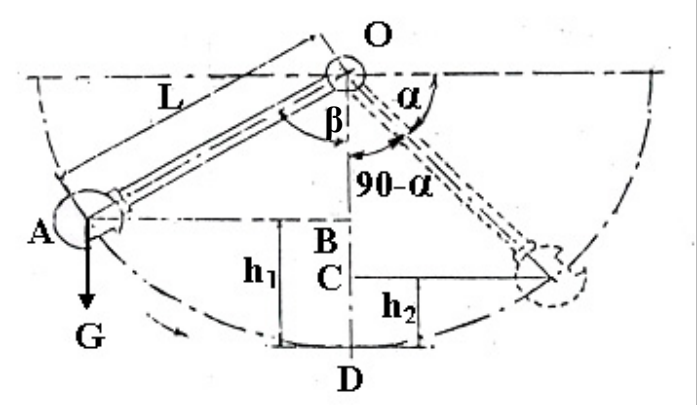
Dimana **α** adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan. Modulus elastisitas atau modulus Young suatu material ditentukan oleh

energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur material.

2.8.2 Kekuatan Impak

Kekuatan impak dinyatakan oleh banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Pengujian kekuatan impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan material terhadap beban kejut. Dalam penelitian ini, pengujian kekuatan impak dilakukan dengan menggunakan metode *Charpy*. Prinsipnya adalah memberikan beban impak yang berupa ayunan pendulum dengan ketinggian tertentu dan menumbuk spesimen bertakik sehingga akan terjadi laju regangan yang sangat besar pada spesimen hingga mengalami deformasi.

Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh material untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan material tersebut. Pengukuran energi impak dilakukan dengan menghitung selisih energi pendulum saat mematahkan spesimen dan saat tidak mematahkan spesimen (*dry run*).



Gambar 2.26 Skema pengujian *impact*
Sumber: Pranoto, 1992

dimana :

α = Sudut simpangan akhir dengan beban (^{o})

α_o = Sudut simpangan akhir tanpa beban (^{o})

β = Sudut simpangan awal (^{o})

Rumus yang digunakan dalam melakukan perhitungan pada pengujian *impact* dapat diturunkan sebagai berikut (Pranoto, 1992) :

OA = L (mm)

OB = $L \cdot \cos \beta^o$ (mm)

OC = L·cos (90 – α) ^{o} (mm)

BA = h_1 = (L – L·cos β^o) (mm)

BC = h_2 = {L – L·cos (90 – α) ^{o}} (mm)

a) Energi yang digunakan secara ideal (A'):

A' = m·g·h_1 – m·g·h_2 = m·g (h_1 - h_2)

= G [(L – L·cos β^o) - {L – L·cos (90 – α) ^{o}}]

A' = G·L [cos (90 – α) ^{o} - cos β^o] (N·mm) ..... (2-6)

b) Kerugian energi akibat gesekan (f):

f = G·L [cos (90 – α_o) ^{o} - cos β^o] (N·mm) ……(2.7)

c) Energi yang digunakan secara aktual (A)

A = A' – f (N·mm) ……..(2-8)

d) Energi untuk mematahkan spesimen tiap luas penampang (Ak)

$$A_k = \frac{A}{fo} \text{ (N·mm/mm}^2\text{)} \quad \text{…… (2-9)}$$

dimana :

L = Panjang lengan pendulum (mm)

G = Berat pendulum (kg)

h_1 = Tinggi pendulum sebelum dilepas (mm)

h_2 = Tinggi pendulum saat dilepas (mm)

A' = Energi yang digunakan secara ideal (N·mm)

f = Energi akibat kerugian gesekan (N·mm)

A = Energi yang digunakan secara aktual (N·mm)

fo = Luas penampang patahan benda kerja pada *notch* (mm^2)

A_k = Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang (N·mm/mm^2)

Terdapat 3 macam pengujian kekuatan impak berdasarkan cara pembebanan dan posisi spesimen pada mesin uji impak, antara lain :

1. Pengujian Pukul

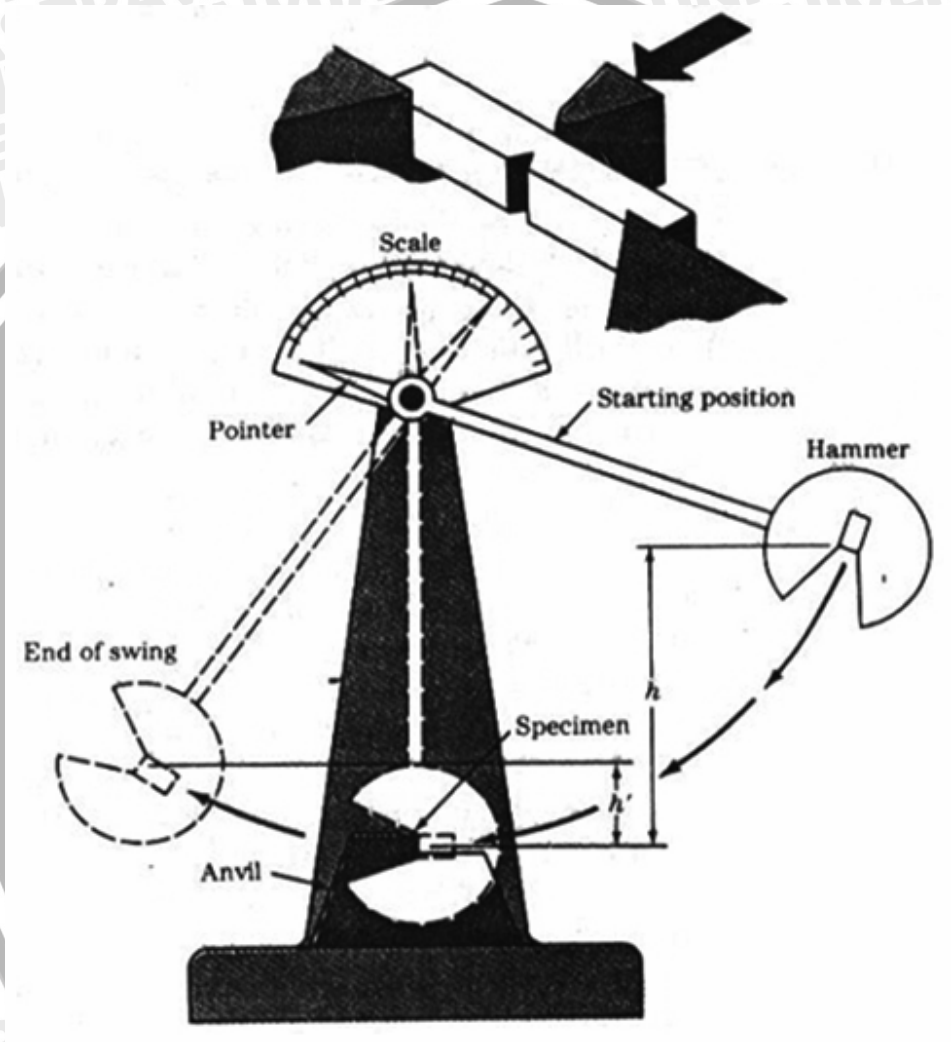
Macam-macam pengujian pukul antara lain sebagai berikut :

- *Izod Impact Test*

  Pengujian ini dilakukan dengan cara menjepit spesimen pada salah satu ujungnya secara vertikal. Posisi notch terletak sejajar dengan penjepit. Beban impak bekerja secara horizontal pada bagian atas spesimen.

- *Impact charpy test*

  Pengujian dilakukan dengan beban pemukul terletak pada posisi vertikal. Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen merupakan energi potensial pendulum, karena pendulum diletakan pada ketinggian tertentu. Energi ini nantinya yang diserap sebagian oleh spesimen untuk mematahkan spesimen dan sebagian hilang karena gesekan pada poros pendulum.

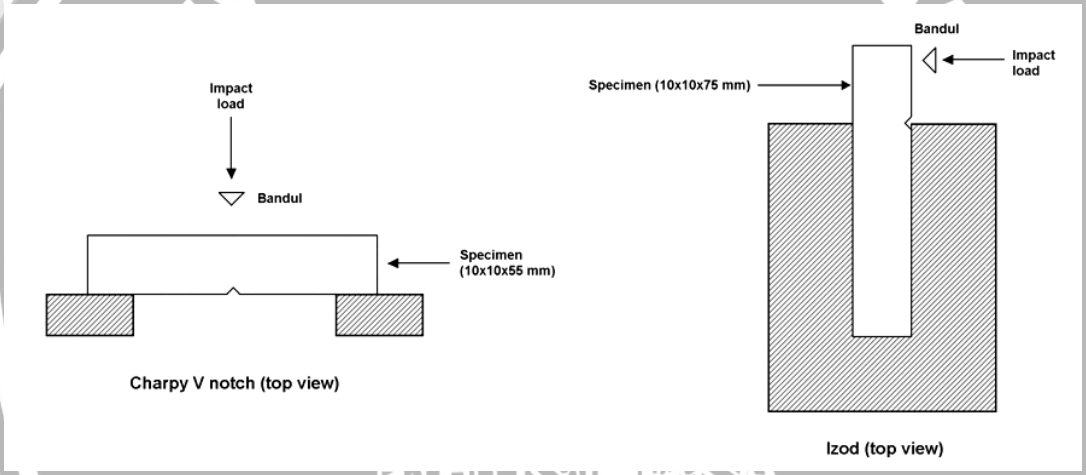


Gambar 2.27 Ilustrasi skematik pengujian impak dengan benda uji *Charpy*
Sumber : Yuwono, 2009

Pada Gambar 2.27 dapat dilihat bahwa setelah benda uji patah akibat deformasi, maka bandul pendulum akan melanjutkan ayunannya hingga posisi *h'*. Bila bahan tersebut tangguh yaitu makin mampu menyerap energi lebih besar maka makin rendah posisi *h'* dan begitu juga sebaliknya. Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah.

Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu : batang uji *Charpy* sebagaimana telah ditunjukkan pada Gambar 2.27, banyak digunakan di Amerika Serikat dan batang uji *Izod* yang lazim digunakan di Inggris dan Eropa. Benda uji *Charpy* memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10 x 10 mm) dan memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul, sebagaimana telah ditunjukkan oleh Gambar 2.27. Sedangkan benda uji *Izod* mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dengan takik (*notch*) berbentuk V di dekat ujung yang dijepit.

Perbedaan cara pembebanan antara metode *Charpy* dan metode *Izod* ditunjukkan oleh Gambar 2.28 dibawah ini.



Gambar 2.27 Ilustrasi pembebanan impak pada benda uji *Charpy* dan *Izod*
Sumber : Yuwono, 2009

2. *Tension Impact Test*

Spesimen yang digunakan tidak menggunakan *notch* (takik). Spesimen dijepit pada kedua ujungnya dan salah satu jepitan merupakan jepitan tetap. Dalam pengujian ini beban impak tidak langsung dipukulkan pada spesimen, tetapi penjepit spesimen dikenai tarikan.

3. *Torsion Impact Test*

Prinsip kerjanya sama dengan *tension impact test,* perbedaannya terletak pada pemberian beban impak terhadap spesimen. Pada *torsion impact test* beban impak berupa torsi dikenakan pada salah satu ujungnya.

2.9 Hipotesa

Berdasarkan kajian-kajian teori dan penelitian sebelumnya diketahui bahwa variasi fraksi volume dan ukuran partikel sebagai penguat yang ditambahkan kedalam matrik polimer akan meningkatkan sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik pada komposit polimer. Sehingga kesimpulan sementara untuk penelitian ini yaitu ada pengaruh pada penambahan persentase fraksi volume silikon dioksida terhadap besarnya kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata *(true experimental research)* dan pengkajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku maupun jurnal dari internet guna mendapatkan data-data dan informasi tambahan yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas (fraksi volume silikon dioksida) dengan variabel terikat (kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik resin *epoxy*).

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari variabel-variabel sebagai berikut :

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lain, yang mana besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variable bebas dalam penelitian ini adalah perbandingan fraksi volume (%) antara silikon dioksida (SiO_2) dengan *epoxy resin*, yaitu sebesar : (10:90), (20:80), (30:70), (40:60), dan (50:50).

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik (N/mm^2) dan kekuatan impak ($N \cdot mm/mm^2$).

c. Variabel Terkendali

Variabel terkendali dalam penelitian ini adalah penambahan katalis sebanyak 1% dari volume *epoxy resin* dan ukuran partikel silikon dioksida (SiO_2) sebesar 200 mesh.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Untuk memperoleh data-data kekuatan tarik dan kekuatan impak yang dipakai dalam penyusunan skripsi, penelitian dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya pada bulan Mei 2009 sampai dengan bulan Juni 2009.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin Uji Tarik

   Alat ini digunakan untuk mengukur ketahanan spesimen terhadap beban tarik. Spesifikasi mesin adalah sebagai berikut :

   Merk : *Teforma Maschinenbau GmbH, D-6991 Igersheim*
   Kapasitas : 100 kN
   Tipe : U PD 10
   Tahun : 1982

   Mesin ini memiliki tiga skala pengukuran beban, yaitu :

   A = 0 s/d 20 kN
   A+B = 0 s/d 50 kN
   A+B+C = 0 s/d 100 kN

2. Mesin Uji Impak

   Alat ini digunakan untuk mengukur ketahanan spesimen terhadap beban kejut. Spesifikasi mesin adalah sebagai berikut :

   Berat pendulum : 24 kg
   Radius lengan : 60 cm
   Sudut lengan : 90°

3. Timbangan digital

   Alat ini digunakan untuk menimbang seberapa beratnya resin *epoxy* dan silikon dioksida dicampurkan sesuai dengan fraksi volumenya. Selain itu juga untuk menguji hasil komposit apakah sesuai dengan fraksi volume yang telah ditentukan.

   Merk : *Mettler*

4. Jangka sorong

   Digunakan untuk mengukur spesimen.

5. Pengaduk

   Alat ini digunakan sebagai alat bantu untuk mengaduk campuran silikon dioksida dan resin *epoxy* agar menjadi homogen.

6. Mangkok

   Digunakan sebagai tempat untuk mengaduk campuran antara *filler* dengan matrik.

7. Gelas ukur volume

   Alat ini digunakan untuk mengukur volume matrik dan sebagai alat koreksi apakah volume campuran antara matrik dengan *filler* sudah sesuai dengan perhitungan.

8. Pipet

   Digunakan sebagai alat bantu untuk mengambil katalis agar sesuai dengan hasil perhitungan.

9. Cetakan

   Digunakan untuk mencetak material agar mempunyai bentuk sesuai dengan spesimen uji tarik dan uji impak.

10. Balok penekan

    Digunakan untuk menghasilkan gaya tekan agar tidak banyak rongga pada campuran komposit.

11. Foto digital

    Digunakan sebagai alat dokumentasi dalam melakukan percobaan.

3.4.2 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. *Epoxy resin* dan *epoxy hardener* sebagai matrik.
b. Silikon dioksida (SiO^2) sebagai *reinforcement* atau penguat.
c. MEKPO (*Methyle Ethyl Ketone Peroxide*) sebagai katalisator.

3.5 Prosedur Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah penelitian yang diambil adalah sebagai berikut :

a. Persiapan alat dan bahan.
b. Perhitungan komposisi bahan.
c. Langkah selanjutnya yaitu resin *epoxy* dan bahan pengeras *(hardener)* dicampur dengan perbandingan volume 1:1. Kemudian ditambahkan silikon dioksida dengan variasi fraksi volume yang telah ditentukan serta pemberian katalis sebanyak 1% dari volume *epoxy*.
d. Aduk campuran tersebut hingga rata.
e. Penuangan campuran ke dalam cetakan, kemudian ratakan hingga semua daerah cetakan terisi.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

f. Tutup cetakan dengan kaca kemudian tekan menggunakan balok. Hal ini dilakukan dengan harapan lubang atau kekosongan dalam coran dapat dikurangi.
g. Tunggu kurang lebih 8-12 jam agar komposit mengeras dengan sempurna.
h. Pengambilan hasil coran, kemudian cetakan dan hasil coran dibersihkan.
i. *Finishing* untuk mendapatkan spesimen uji kekuatan impak dan kekuatan tarik yang sesuai.

3.6 Metode Pengujian

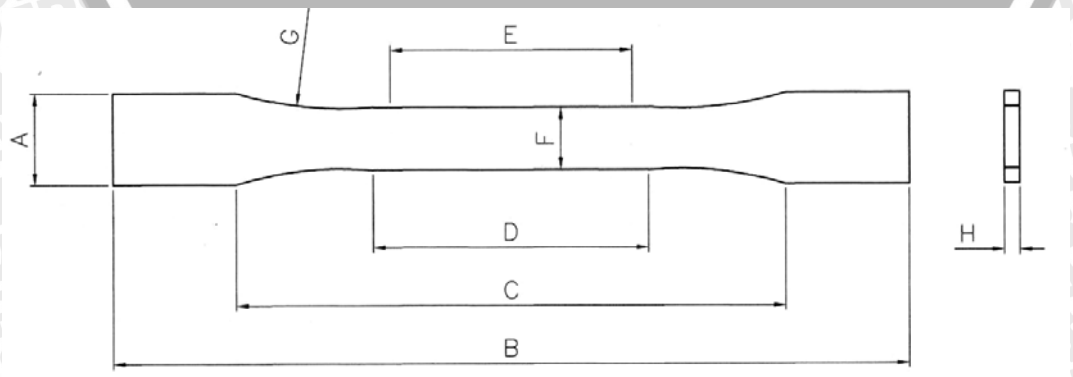
3.6.1 Pengujian Kekekuatan Tarik

Spesimen uji tarik dibuat dengan proses pencetakan pada cetakan yang telah disiapkan sesuai dengan JIS K 7113. Proses pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing-masing variasi komposisi komposit.

Tahapan pengujian kekuatan tarik dilakukan sesuai dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Spesimen dipasang erat dengan cara dicengkeram kedua ujungnya pada cekam penjepit (*grip*) secara vertikal.
2. Alat uji tarik diatur pada debit fluida hidrolis sebesar 1,5 liter/menit, dengan pembebanan pada posisi A, skala pertambahan panjang 0 mm dan jarum beban pada posisi 0 (nol).
3. Mesin dinyalakan dan dilakukan pengamatan dengan teliti terhadap beban dan pertambahan panjang (tiap 0,5 mm) hingga spesimen patah.

Gambar 3.1 menunjukkan dimensi spesimen yang digunakan dalam pengujian kekekuatan tarik.



Gambar 3.1 Spesimen pengujian kekuatan tarik
Sumber : JIS K 7113, *Annual Book of JIS Standards,* 1981

Tabel 3.1 Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik

A *Width overall*	***B*** *Length overall*	***C*** *Distance between grips*	***D*** *Length of narrow section*	***E*** *Gauge length*	***F*** *Width of narrow section*	***G*** *Radius of fillet*	***H*** *Thickness*
20 mm	175 mm	115 mm	60 ± 0,5 mm	50 ± 0,5 mm	10 ± 0,5 mm	R 60 mm	1 - 10 mm

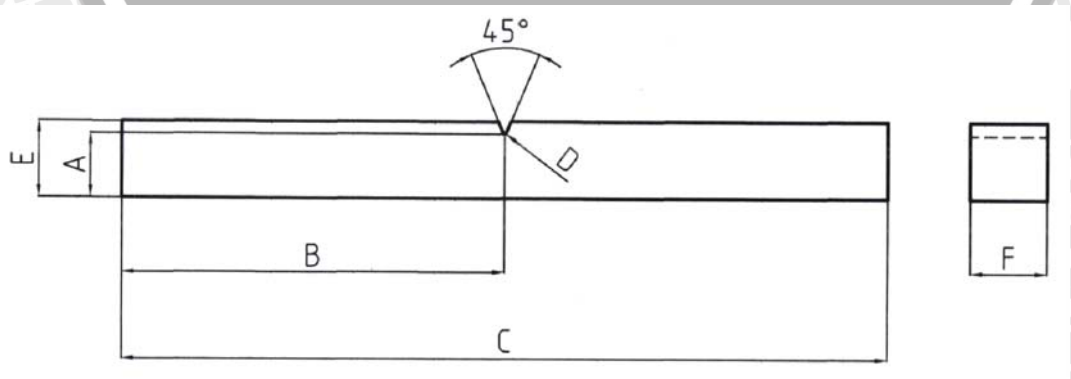
3.6.2 Pengujian Kekuatan Impak

Spesimen uji impak dibuat dengan proses pencetakan pada cetakan yang telah disiapkan sesuai dengan ASTM D256. Proses pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing-masing variasi komposisi komposit.

Tahapan pengujian kekuatan impak dilakukan sesuai dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Jarum penunjuk dan pendulum diletakkan pada posisi 0 (nol).
2. Lengan pengangkat dipasang pada pendulum kemudian diangkat sampai sudut 30^0.
3. Pendulum dilepas untuk memperoleh sudut simpangan akhir tanpa adanya spesimen beban (*dry run*).
4. Spesimen dipasang pada penumpu dengan posisi horizontal, takikan berlawanan sisi dengan pendulum.
5. Tombol *release* kemudian ditekan hingga pendulum bergerak mematahkan spesimen.
6. Mencatat besar sudut yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

Gambar 3.2 menunjukkan dimensi spesimen yang digunakan dalam pengujian kekuatan impak.



Gambar 3.2 Spesimen pengujian kekuatan impak
Sumber : ASTM D256, *Annual Book of ASTM Standard,* 1990

Tabel 3.2 Dimensi spesimen pengujian kekuatan impak

A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
10,16 ± 0,05 mm	63,5 mm	127 mm	R 0,25 mm	12,7 ± 0,5 mm	12,7 ± 0,5 mm

3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisa yang tepat sehingga didapat suatu analisa dan kesimpulan yang tepat. Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisa data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti. Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisa statistik dan mengunakan analisa varian satu arah.

3.7.1 Analisa Statistik

Analisa statistik di sini bertujuan untuk menduga kekuatan tarik dan kekuatan impak rata-rata yang terjadi sebagai akibat pengaruh penambahan fraksi volume silikon dioksida pada komposit dengan matrik *epoxy resin*. Analisa tersebut adalah sebagai berikut :

- Data rata-rata ($\bar{x}$)

$$= \frac{\sum x}{n} \quad \text{.....(3-1)}$$

- Standar deviasi (δ)

$$= \sqrt{\frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{.....(3-2)}$$

- Standar deviasi rata-rata ($\bar{\delta}$)

$$= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad \text{.....(3-3)}$$

- Interval penduga

$$= \bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right] \quad \text{.....(3-4)}$$

(Sumber : Walpole, 1997)

3.7.2 Analisa Varian Satu Arah

Berdasarkan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik resin *epoxy*. Harga variabel terikat dari fraksi volume dianggap sebagai μ_1 = 0 % C, μ_2 = 10 %, μ_3 = 20%, μ_4 = 30 %, μ_5 = 40 %. Maka hipotesis penelitian ditulis sebagai berikut :

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

  (Menyatakan bahwa variasi fraksi volume silikon dioksida tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*).

- H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$

  (Menyatakan bahwa variasi fraksi volume silikon dioksida memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*).

Tabel 3.3 Sistematika penulisan data penelitian kekuatan mekanik

Fraksi Volume Silikon Dioksida (%)	**Data Kekuatan Mekanik (N/mm^2)**			
	Pengulangan Data			**Rata - rata**
	1	**2**	**3**	
10	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	$\overline{Y}_{i1}$
20	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	$\overline{Y}_{i2}$
30	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	$\overline{Y}_{i3}$
40	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	$\overline{Y}_{i4}$
50	Y_{15}	Y_{25}	Y_{35}	$\overline{Y}_{i5}$

Keterangan :

Y = Data kekuatan mekanik spesimen

Y_{ij} = Data pengamatan pada pengulangan ke i variasi fraksi volume ke j

Berdasarkan data pada tabel sistematika penulisan data penelitian kekuatan mekanik, maka dapat dihitung :

- Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij} \quad \text{.....(3-5)}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}^{\ 2} \quad \text{.....(3-6)}$$

- Faktor koreksi (*fk*)

$$= \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \quad \text{.....(3-7)}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}^{\ 2} - fk \quad \text{.....(3-8)}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$= \frac{\sum_{j=1}^{k} \left(\sum_{i=1}^{n} Y_{ij} \right)^2}{ni} - fk \quad \text{.....(3-9)}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$= JKT - JKP \quad \text{.....(3-10)}$$

- Kuarat tengah perlakuan (KTP)

$$= \frac{JKP}{k-1} \quad \text{.....(3-11)}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$= \frac{JKG}{n-k} \quad \text{.....(3-12)}$$

(Sumber : Walpole, 1997)

Dari data perhitungan di atas dapat dicari besarnya nilai F_{hitung} dengan rumus sebagai berikut :

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad \text{.....(3-13)}$$

(Sumber : Walpole, 1997)

Selanjutnya, uji analisa variabel analisa varian dapat dibahas dengan membuat tabel analisa varian satu arah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Analisa varian satu arah

Sumber Varianan	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	F(α, k, db)
Galat	k(n-1)	JKG	KTG		
Total	nk-1	JKT			

Pengujian ada tidaknya pengaruh fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} :

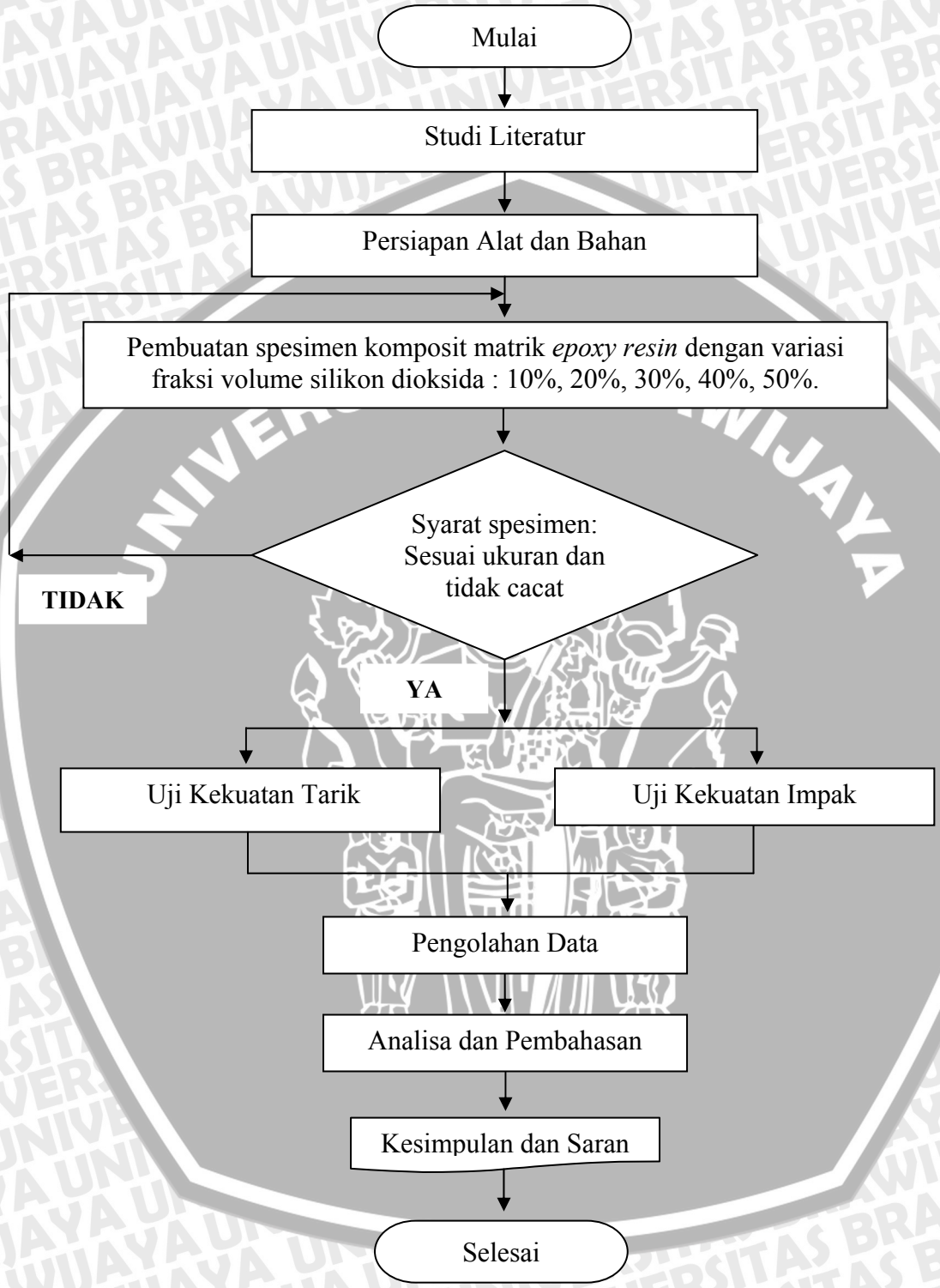
1. Jika (F_{hitung}) > F(α, k, db) berarti H_0 ditolak

   Ini menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara variasi fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*.

2. Jika (F_{hitung}) < F(α, k, db) berarti H_0 diterima

   Ini menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara variasi fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

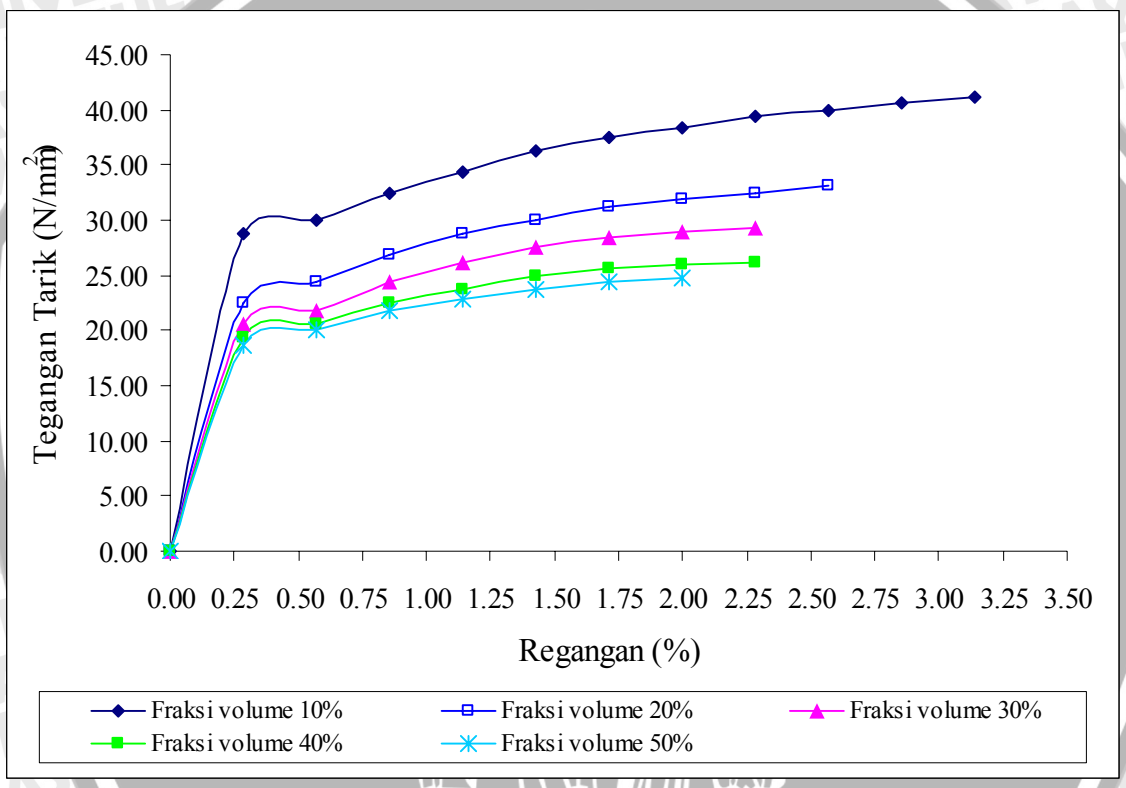
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Dari pengujian tarik pada komposit matrik *epoxy resin* – variasi fraksi volume silikon dioksida didapatkan data beban dan pertambahan panjang, kemudian data-data tersebut diolah sehingga diperoleh diagram tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Diagram tegangan- regangan dari komposit matrik *epoxy resin* – variasi fraksi volume silikon dioksida

Sedangkan dari diagram tegangan-regangan tersebut dapat diketahui kekuatan tarik (*tensile strength*) yang ditunjukkan oleh tegangan maksimum (*ultimate*) spesimen, dimana tegangan maksimum sekaligus tegangan perpatahan. Sehingga komposit dengan *epoxy resin* sebagai matrik dan silikon dioksida sebagai *filler* memiliki sifat getas. Nilai *tensile strength* dari komposit matrik *epoxy resin* – variasi fraksi volume silikon dioksida ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian tarik komposit

Fraksi Volume Silikon Dioksida (%)	Kekuatan Tarik (N/mm^2)				
	Pengulangan Data			Jumlah	Rata - rata
	1	2	3		
10	40,625	41,250	38,750	120,625	40,208
20	31,875	33,125	30,625	95,625	31,875
30	27,500	29,375	28,750	85,625	28,542
40	25,625	26,250	26,563	78,438	26,146
50	24,375	24,688	24,063	73,125	24,375

4.1.2 Data Hasil Pengujian Impak

Dari pengujian impak pada komposit matrik *epoxy resin* – variasi fraksi volume silikon dioksida didapatkan data-data berupa perubahan sudut pada alat uji impak, selanjutnya data-data tersebut diolah sehingga diperoleh data kekuatan impak pada berbagai persentase fraksi volume silikon dioksida seperti yang ditunjukkan Tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data hasil pengujian impak komposit

Fraksi Volume Silikon Dioksida (%)	Kekuatan Impak (N·mm/mm^2)				
	Pengulangan Data			Jumlah	Rata - rata
	1	2	3		
10	6,947	8,653	6,947	22,547	7,516
20	10,348	12,030	11,190	33,567	11,189
30	12,866	13,699	13,699	40,265	13,422
40	6,947	7,802	6,089	20,838	6,946
50	3,498	1,755	3,498	8,750	2,917

4.2 Analisa Statistik

Untuk menduga besarnya kekuatan tarik dan kekuatan impak rata-rata yang terjadi sebagai akibat pengaruh penambahan fraksi volume silikon dioksida pada komposit dengan matrik *epoxy resin*, maka perlu dilakukan analisa statistik.

4.2.1 Analisa Statistik Pengujian Tarik

Data perhitungan statistik yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data kekuatan tarik dengan fraksi volume silikon dioksida sebesar 10%.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Data rata-rata ($\bar{x}$)

$$= \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{120{,}625}{3}$$

= 40,208

- Standar Deviasi (δ)

$$= \sqrt{\frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{3{,}385}{2}}$$

= 1,301

- Standar Deviasi Rata-Rata ($\bar{\delta}$)

$$= \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1{,}301}{\sqrt{3}}$$

= 0,751

- Interval penduga

$$= \bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right]$$

db = n-1

= 3-1 = 2

Dari tabel-T dengan α = 5 % dapat diketahui

t (α/2 ; db) = t (0,025 ; 2)

= 4,303

maka,

$$40{,}208 - (4{,}303x0{,}751) < \mu < 40{,}208 + (4{,}303x0{,}751)$$

$$36{,}976 < \mu < 43{,}441$$

Jadi dengan interval keyakinan 95%, penduga kekuatan tarik komposit epoxy resin dengan fraksi volume silikon dioksida sebesar 10% tersebut antara 36,976 N/mm^2 sampai dengan 43,441 N/mm^2.

Dengan perhitungan yang sama seperti diatas maka dapat diketahui interval penduga untuk komposit *epoxy resin* dengan berbagai persentase fraksi volume silikon dioksida seperti ditunjukan pada Tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Interval penduga kekuatan tarik komposit

Interval Penduga	Fraksi Volume Silikon Dioksida				
	10%	20%	30%	40%	50%
Kekuatan tarik rata-rata (N/mm^2)	40,208	31,875	28,542	26,146	24,375
Standar deviasi rata-rata	0,751	0,722	0,551	0,276	0,180
Interval penduga kekuatan tarik	36,976 < μ < 43,.441	28,770 < μ < 34,980	26,170 < μ < 30,913	24,960 < μ < 27,332	23,599 < μ < 25,151

4.2.2 Analisa Statistik Pengujian Impak

Data perhitungan statistik yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data kekuatan impak dengan fraksi volume silikon dioksida sebesar 10%.

- Data rata-rata ($\bar{x}$)

$$= \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{22,547}{3}$$

$$= 7,516$$

- Standar Deviasi (δ)

$$= \sqrt{\frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,941}{2}}$$

$$= 0,985$$

- Standar Deviasi Rata-Rata ($\bar{\delta}$)

$$= \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,491}{\sqrt{3}}$$

$$= 0,569$$

- Interval penduga

$$= \bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right]$$

db = n-1

= 3-1

= 2

Dari tabel-T dengan α = 5 % dapat diketahui

t (α/2 ; db) = t (0,025 ; 2)

= 4,303

maka,

$$7{,}516 - (4{,}303x0{,}569) < \mu < 7{,}516 + (4{,}303x0{,}569)$$

$$5{,}068 < \mu < 9{,}963$$

Jadi dengan interval keyakinan 95%, penduga kekuatan impak komposit *epoxy resin* dengan fraksi volume silikon dioksida sebesar 10% tersebut antara 5,068 N/mm^2 sampai dengan 9,963 N/mm^2.

Dengan perhitungan yang sama seperti diatas maka dapat diketahui interval penduga untuk komposit *epoxy resin* dengan berbagai persentase fraksi volume silikon dioksida seperti ditunjukan pada Tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Interval penduga kekuatan impak komposit

Interval Penduga	**Fraksi Volume Silikon Dioksida**				
	10%	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Kekuatan impak rata-rata (N.mm/mm^2)	7,516	11,189	13,422	6,946	2,917
Standar deviasi rata-rata	0,569	0,486	0,278	0,494	0,581
Interval penduga kekuatan tarik	5,068 < μ < 9,963	9,100 < μ < 13,279	12,226 < μ < 14,617	4,819 < μ < 9,073	0,417 < μ < 5,416

4.3 Analisa Varian Satu Arah

Untuk mengetahui apakah ada pengaruh antara fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*, maka dilakukan analisa varian. Apabila F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} berarti ada pengaruh yang

nyata antara fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*.

4.3.1 Analisa Varian Satu Arah Kekuatan Tarik

- Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}$$

$$= 40{,}625 + 41{,}250 + \ldots\ldots + 24{,}375 + 24{,}688 + 24{,}063$$

$$= 453{,}438$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}^{2}$$

$$= (40{,}625)^2 + (41{,}250)^2 + \ldots\ldots + (24{,}375)^2 + (24{,}688)^2 + (24{,}063)^2$$

$$= 14184{,}227$$

- Faktor koreksi (*fk*)

$$= \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}\right)^2}{\sum ni}$$

$$= \frac{205605{,}566}{15}$$

$$= 13707{,}038$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}^{2} - fk$$

$$= 14184{,}227 - 13707{,}038$$

$$= 477{,}240$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$= \frac{\sum_{j=1}^{k} \left(\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}\right)^2}{ni} - fk$$

$$= \frac{42525{,}879}{3} - 13707{,}038$$

$$= 468{,}255$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

  $= JKT - JKP$

  = 477,240 - 468,255

  = 8,984

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

  $= \frac{JKP}{k-1}$

  $= \frac{468,255}{4}$

  = 117,064

- Kuadrat tengah galat (KTG)

  $= \frac{JKG}{n-k}$

  $= \frac{8,984}{10}$

  = 0,898

- Nilai F_{hitung}

  $= \frac{KTP}{KTG}$

  $= \frac{117,064}{0,898}$

  = 130,297

Tabel 4.5 Tabel analisa varian satu arah kekuatan tarik komposit

Sumber Varianan	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	468,255	117,064	130,297	3,48
Galat	10	8,984	0,898		
Total	14	477,240			

Dari Tabel 4.5 analisa varian satu arah diatas diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi persentase fraksi volume silikon dioksida sebagai penguat mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik komposit.

4.3.2 Analisa Varian Satu Arah Kekuatan Impak

- Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}$$

= 6,947 + 8,653 + …… + 3,498 + 1,755 + 3,498

= 125,968

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}^{2}$$

$= (6{,}947)^2 + (8{,}653)^2 + \ldots\ldots + (3{,}498)^2 + (1{,}755)^2 + (3{,}498)^2$

= 1263,044

- Faktor koreksi (*fk*)

$$= \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}\right)^2}{\sum ni}$$

$$= \frac{15867{,}859}{15}$$

= 1057,857

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} Y_{ij}^{2} - fk$$

= 1263,044 – 1057,857

= 205,187

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$= \frac{\sum_{j=1}^{k} \left(\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}\right)^2}{ni} - fk$$

$$= \frac{3767{,}203}{3} - 1057{,}857$$

= 197,877

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$= JKT - JKP$

= 205,187 - 197,877

$= 7{,}310$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$= \frac{JKP}{k-1}$$

$$= \frac{197{,}877}{4}$$

$= 49{,}469$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$= \frac{JKG}{n-k}$$

$$= \frac{7{,}310}{10}$$

$= 0{,}731$

- Nilai F_{hitung}

$$= \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{49{,}469}{0{,}731}$$

$= 67{,}672$

Tabel 4.6 Tabel analisa varian satu arah kekuatan tarik komposit

Sumber Varianan	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	197,877	49,469	67,672	3,48
Galat	10	7,310	0,731		
Total	14	205,187			

Dari Tabel 4.6 analisa varian satu arah diatas diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi persentase fraksi volume silikon dioksida sebagai penguat komposit mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impak komposit.

4.4 Pembahasan

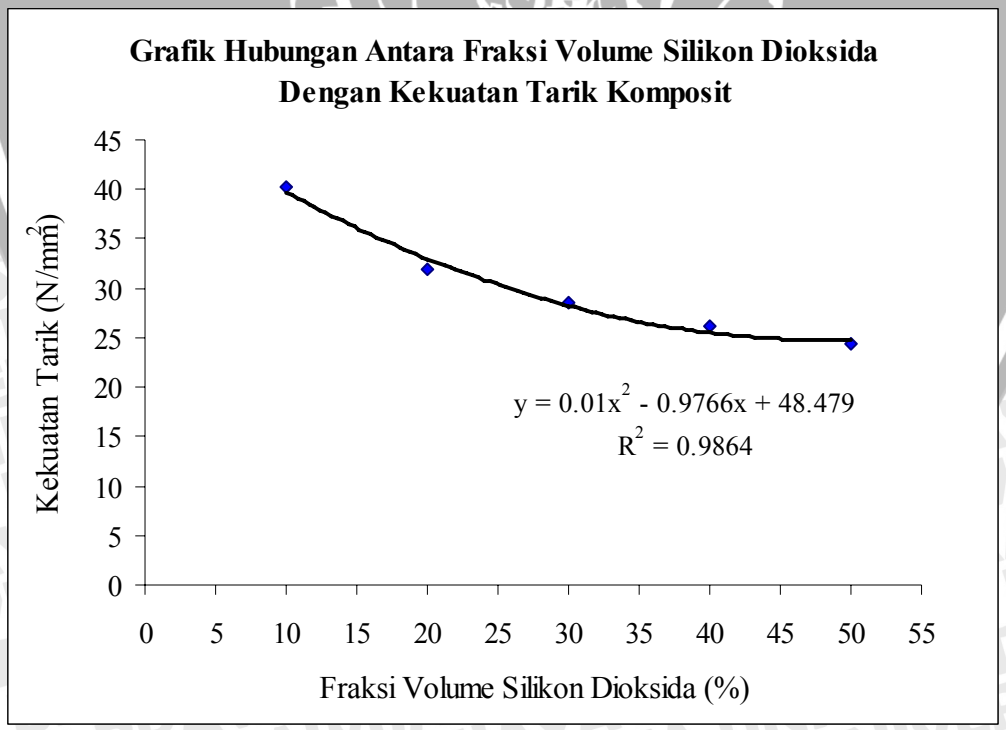
Dari pengujian dan perhitungan data dengan variasi persentase fraksi volume silikon dioksida, maka didapatkan besarnya kekuatan tarik dan kekuatan impak

komposit dengan matrik *epoxy resin*. Untuk mempermudah menganalisa, maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik-grafik tersebut menunjukkan hubungan antara berbagai persentase fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit.

4.4.1 Analisa Hubungan Antara Persentase Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Tarik Komposit

Kekuatan tarik (*tensile strength*) komposit ditunjukkan oleh tegangan *ultimate* pada diagram tegangan-regangan yang diperoleh dari pengujian kekuatan tarik. Dimana kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan atau beban tarik dari luar, dinyatakan oleh banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen (Bardji, 1992).

Analisa statistik pada Tabel 4.3, nilai interval penduga menunjukkan bahwa data hasil pengujian kekuatan tarik untuk semua pengulangan berada diantara batasan maksimum dan minimum. Dugaan rata-rata tersebut dapat diartikan bahwa data pengulangan adalah seragam dalam hal kekuatan tariknya. Analisa statistik ini menggunakan derajat kesalahan 5%, yang berarti tingkat keyakinan yang dipakai sebesar 95%.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan tarik komposit matrik *epoxy resin*

Berdasarkan hasil analisa varian satu arah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5, diperoleh hasil F_{hitung} sebesar 130,297 sedangkan F_{tabel} sebesar 3,48. Berarti nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan fraksi volume silikon dioksida sebagai penguat mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik komposit dengan matrik *epoxy resin*.

Dari grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan tarik komposit matrik *epoxy resin* (Gambar 4.2), dapat diketahui bahwa kekuatan tarik komposit cenderung menurun sampai dengan penambahan fraksi volume silikon dioksida sebesar 50%. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi dicapai pada penambahan fraksi volume silikon dioksida 10% yaitu sebesar 40,208 N/mm^2, sedangkan kekuatan tarik rata-rata terendah pada fraksi volume 50% sebesar 24,375 N/mm^2.

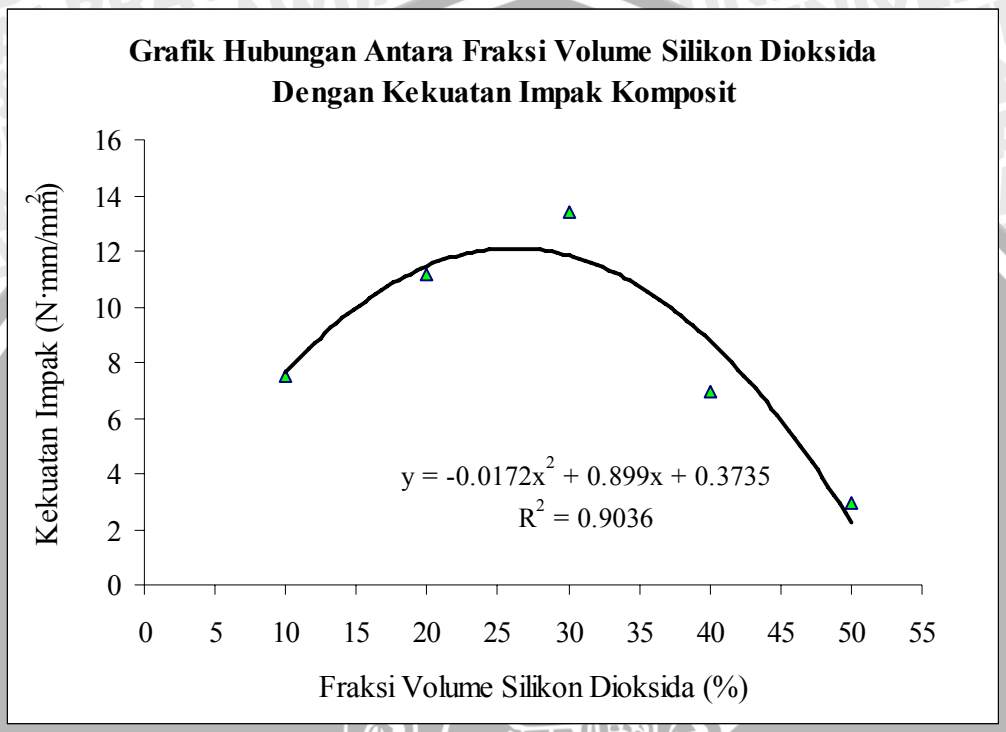
Hasil uji tarik komposit matrik *epoxy resin* menunjukkan bahwa kekuatan tarik material semakin menurun seiring dengan penambahan persentase fraksi volume silikon dioksida. Dengan penambahan persentase fraksi volume silikon dioksida, komposisi butiran yang ada akan semakin besar, pola distribusi butiran semakin kasar, tidak merata, dan tidak kompak, hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh resin *epoxy* yang cenderung menggumpal (*agglomerates*) dan berat jenis silikon dioksida yang lebih besar. Sehingga adisi antara *filler* dengan matrik menjadi kurang kuat dan berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit.

Penurunan kekuatan mekanik dari komposit ini terjadi karena pada saaat dikenai gaya tarik, resin *epoxy* yang berfungsi sebagai matrik mengalami regangan, material komposit bertambah panjang dan distribusi partikel silikon dioksida yang berfungsi sebagai *filler* semakin jarang. Pada saat tarikan dilanjutkan sampai terjadi patah, maka daerah matrik yang mengalami deformasi plastis atau mengalami retakan terbanyak dan pada *filler* terdeformasi elastis, sehingga akan mengakibatkan bahan komposit bersifat getas dan mudah patah seiring dengan penambahan *filler*. Dengan penambahan persentase *filler* yang besar, maka akan mengakibatkan sumber patahan yang ada semakin banyak.

4.4.2 Analisa Hubungan Antara Persentase Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Impak Komposit

Kekuatan impak (*impact strength*) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejut (*impact*), dinyatakan oleh banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen (Bardji, 1992).

Analisa statistik pada Tabel 4.4, nilai interval penduga menunjukkan bahwa data hasil pengujian kekuatan impak untuk semua pengulangan berada diantara batasan maksimum dan minimum. Dugaan rata-rata tersebut dapat diartikan bahwa data pengulangan adalah seragam dalam hal kekuatan impaknya. Analisa statistik ini menggunakan derajat kesalahan 5%, yang berarti tingkat keyakinan yang dipakai sebesar 95%.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan impak komposit matrik resin *epoxy*

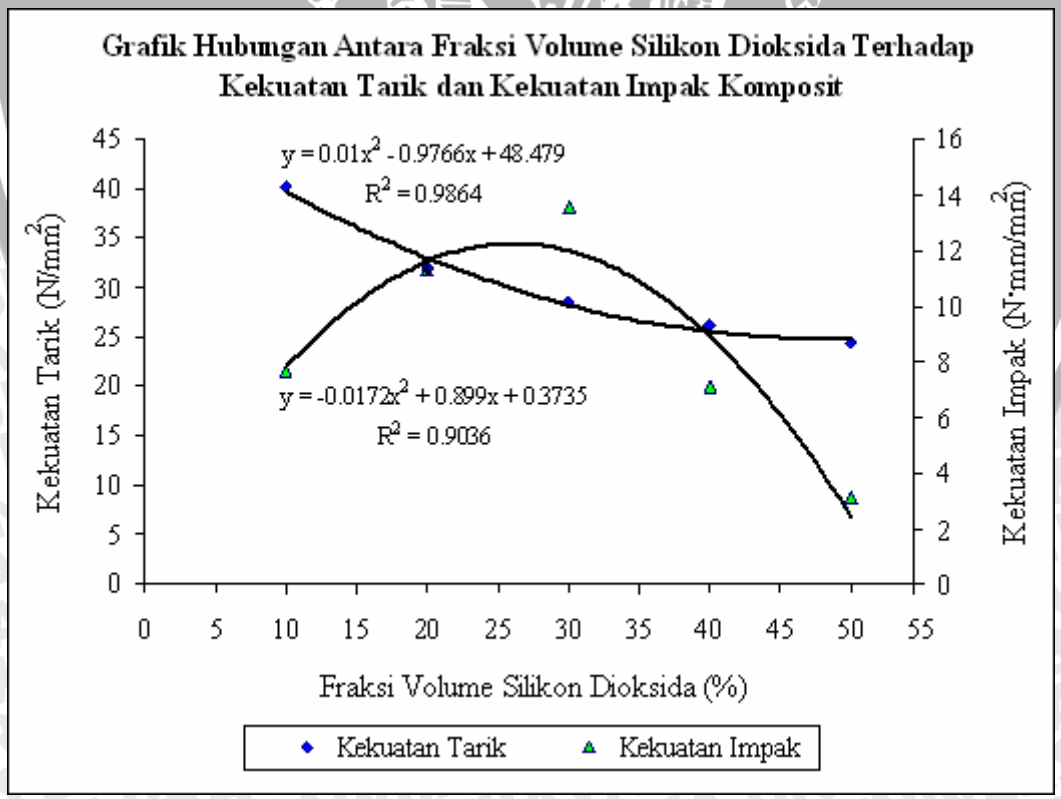
Berdasarkan hasil analisa varian satu arah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6, diperoleh hasil F_{hitung} sebesar 67,672 sedangkan F_{tabel} sebesar 3,48. Berarti nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan fraksi volume silikon dioksida sebagai penguat mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impak komposit dengan matrik *epoxy resin*.

Dari grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida dengan kekuatan impak komposit matrik *epoxy resin* (Gambar 4.3), dapat diketahui bahwa kekuatan material semakin bertambah seiring dengan penambahan jumlah fraksi volume silikon dioksida pada campurannya. Namun, peningkatan ini hanya sampai titik tertentu, kemudian penambahan lebih banyak lagi jumlah silikon dioksida justru menurunkan kekuatan material. Kekuatan impak rata-rata tertinggi yang dapat dicapai pada fraksi volume 30% yaitu sebesar 13,422 N·mm/mm^2.

Peningkatan kekuatan mekanik material ini, terjadi akibat penambahan silikon dioksida pada resin *epoxy*. Permukaan partikel silikon dioksida yang sangat luas berinteraksi dengan rantai polimer sehingga mereduksi mobilitas rantai polimer. Interaksi ini meningkatkan kekuatan mekanik komposisit tersebut jauh di atas kekuatan polimer itu sendiri. Semakin banyak jumlah fraksi volume silikon dioksida yang dimasukkan, kekuatan dari material komposit juga bertambah sampai titik kritisnya kemudian turun. Penurunan ini timbul karena kadar silikon dioksida pada polimer sudah jenuh sehingga kristalinitasnya berkurang. Selain itu, ketidak ratanya campuran resin *epoxy* dengan silikon dioksida mengakibatkan energi yang diserap menjadi lebih kecil dan mengakibatkan kekuatan impak menurun. Kekuatan impak rata-rata terendah pada fraksi volume 50% yaitu sebesar 2,917 N·mm/mm^2.

4.4.3 Analisa Hubungan Antara Persentase Fraksi Volume Silikon Dioksida Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit

Untuk mendapatkan data yang lebih sistematik dari hasil penelitian, maka diperlukan adanya penggabungan antara grafik kekuatan tarik (Gambar 4.2) dan grafik kekuatan impak (Gambar 4.3) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik resin *epoxy*

Dari grafik hubungan antara fraksi volume silikon dioksida terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik *epoxy resin* (Gambar 4.4), dapat diketahui bahwa dalam pembuatan komposit dengan silikon dioksida yang berfungsi sebagai penguat dan *epoxy resin* sebagai matrik mempunyai kekuatan tarik maksimum maupun kekuatan impak maksimum yang diperoleh pada persentase fraksi volume silikon dioksida sebesar 20%. Hal tersebut didasarkan pada pemilihan aspek terbaik dari titik pertemuan garis polinomial pada penggabungan antara grafik kekuatan tarik dan grafik kekuatan impak. Dimana pada fraksi volume silikon dioksida sebanyak 20% tersebut, kekuatan tarik rata-ratanya sebesar 31,875 N/mm^2 dan kekuatan impak rata-ratanya sebesar 11,189 N/mm^2.

Sedangkan untuk kekuatan tarik minimun maupun kekutan impak mininum dicapai pada persentase fraksi volume silikon dioksida sebanyak 40%, yaitu dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 26,146 N·mm/mm^2 dan kekuatan impak rata-rata sebesar 6,946 N·mm/mm^2.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik komposit dengan matrik *epoxy resin* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya fraksi volume silikon dioksida mulai dari 10% sampai 50%. Kekuatan tarik komposit rata-rata tertinggi diperoleh pada penambahan fraksi volume silikon dioksida 10%, yaitu sebesar 40,208 N/mm2. Sedangkan kekuatan impak komposit mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya fraksi volume silikon dioksida mulai dari 10% sampai 50%. Kekuatan impak komposit rata-rata tertinggi dicapai pada penambahan fraksi volume silikon dioksida 30%, yaitu sebesar 13,422 $N \cdot mm/mm^2$. Tapi peningkatan sifat mekanik sebagai efek dari penambahan fraksi volume silikon dioksida ini tidak terjadi terus-menerus. Kekuatan mekanik material akan sampai pada titik kritisnya kemudian turun.

5.2 Saran

1. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan reaktan pengikat antara *filler* dengan matrik sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanisnya.
2. Perlu diteliti variasi ukuran serbuk dalam komposit sehingga dapat diperoleh kekuatan yang optimum.
3. Pada saat melakukan penelitian hendaknya sangat diperhatikan pengontrolan terhadap variabel bebas, harapannya dengan pengontrolan yang baik diperoleh hasil penelitian yang akurat.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

A. H Yuwono. 2009. *Buku Panduan : Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak* (*Destructive Testing*). Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

Annual Book of ASTM Standards, D 256. 1990. *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus Single-Filament Materials*. ASTM Standards and Literature References for Composite Materials, 2nd ed., American Society for Testing and Material, Philadelphia, PA.

Annual Book of JIS Standards, K 7113. 1981. "*Testing Method for Tensile Properties of Plastik*", Japanese Industrial Standard.

Antonia Y. T. 2006. *Komposit Laminat Bambu Serat Woven Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Fiber Glass Pada Kulit Kapal*. Jurusan Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

A.W. Urquhart. 1991. *Novel Reinforced Ceramic and Metals; a Review of Lanxide's Composite Technologies*, Mat. Science and Technology. Vol.7.

Bardji H. P. 1992. *Teori Dasar Pengujian Logam*.Malang: Jurusan Mesin FT Universitas Brawijaya.

Carter F. Giles, Paul E. Donald. 1991. *Materials Science & Engineering*. United State: ASM International.

CERAM Research Ltd. *Silica, Silicon Dioxide*, (online), (http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=997, diakses Juni 2008).

CERAM Research Ltd. *Epoxy Resin; Flexible*, (online), (http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=651, diakses Juni 2008).

CERAM Research Ltd. *Silica – Silicon Dioxide*, (online), (http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1114, diakses Juni 2008).

Engineered Materials Handbook, Vol. 1. 1987. *Composites,* ASM International, Metals Park, OH.

F. L Matthew and Rees D. Rawlings. 1994. *Composites Materials : Engineering And Science*. Chapman & Hall, London.

Gerald Myers and Paul Steinert, PhD, PD. 2003. *The Advantage of Composite Materials in the Design, Construction and Use of Hard-Wall Shelters and Container Systems*. Alkan Shelter, LLC.

Iman Mujiarto. 2005. Sifat Dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif, Vol.3. AMNI, Semarang.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

J. C. Anderson, Keith D. Leaver, Patrick S. Leevers & Rees D. Rawlings. 1990. *Materials Science for Engineers*. Chapman & Hall, London.

Jim Clark. 2007. *Sifat-sifat Oksida-oksida Unsur Periode 3*, (online), (http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia_anorganik1/unsur-unsur_periode_3/sifat_sifat_oksida_oksida_unsur_periode_3/, diakses Juni 2008).

Joel R. Fried. 1995. *Polymer Science and Technology*. Prentice-Hall PTR : New Jersey.

J. W. Weeton, D. M. Peters. 1987, *Engineers' Guide to Composite Materials*, ASM International, Ohio.

Keneth G. Budinski. 1996. *Engineering Materials, Properties and Selection fifth edition*. Prencitice-Hall, Inc. New Jersey.

Lab. Metalurgi Fisik. Teknik Mesin Univesitas Brawijaya, (online), (http://mesin.brawijaya.ac.id/metfis.php, diakses April 2009).

Mel. M. Schwartz. 1997. *Composite Material Processing, Fabrication and Applications*. Vol II, Prencitice-Hall, Inc. New Jersey.

Michael F Ashby & David R.H Jones. 1980. *ENGINEERING MATERIALS, An Introduction to their Properties and Applications*, editing by R.J. Brook, Pergamon Press, New York.

M. Sarkar, Kausik Dana, S. Gathak and A. Banerjee. 2007. *Polypropylene - clay composite prepared from Indian bentonite*. Department of Polymer Science and Technology, University of Calcutta, Kolkata 700 009, India.

Paul D. Q. Campbell. 1996. *Plastic Component Design*. Industrial Press Inc, New York.

Polymer Science Learning Center. *Making Epoxy Resin*: *Epoxy Resins*, (online), (http://www.pslc.ws/macrog/epoxy.htm, diakses Juni 2008).

Rahmat Saptono. 2008. Pengetahuan Bahan. Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

Richard A. Flinn and Paul K. Trojan. 1990. *Engineering Materials and Their Applications,* 4th edition. London: Houghton Mifflin Company.

Risa Rahmawati S. 2009. Struktur Padatan Silikon Dioksida. Magister Pengajaran Kimia. Intitut Teknologi Bandung.

Ronald F. Gibson. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics,* MC. Graw Hill. Inc. New York.

Sidney H. Goodman. 1998. *Handbook of Thermoset Plastics*, Chapter 6. Noyes Publications, New Jersey.

SP System. *The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structures*. St Cross Business Park, Newport, Isle of Wight, United Kingdom PO30 5WU.

Suresh G. Advani. 2003. *Process Modeling in Composite Manufacturing*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Suryasarathi Bose and P.A. Mahanwar. 2004. *Effect of Particle Size of Filler on Properties of Nylon-6*. Plastics & Paints Division, University Institute of Chemical Technology, University of Mumbai, Matunga, India.

S. Y. Oh, J. A. Cornie, and K. C. Russell. 1983. *Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminum Alloys*, Part II. Study of Wettability, Met. Trans.A 20 A.

T. A Osswald. and G. Menges. 1996. *Materials Science of Polymers for Engineers*, 1st Ed. Hanser, Munich.

Tata Surdia dan Shinroku Saito.1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita.

Walpole, Ronald E. 1997, *Introduction to Statistics,* New York.

William F. Smith. 2004. *Foundation of Material Science and Engineering*. New York: Mc Graw Hill.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 1. Data kekuatan tarik

Fraksi Volume Silikon Dioksida (%)	Spesimen											
	1				2				3			
	L (mm)	P (Newton)	σ (N/mm^2)	ε (%)	L (mm)	P (Newton)	σ (N/mm^2)	ε (%)	L (mm)	P (Newton)	σ (N/mm^2)	ε (%)
10	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000
	175.50	2500	31.250	0.286	175.50	2300	28.750	0.286	175.50	2400	30.000	0.286
	176.00	2600	32.500	0.571	176.00	2400	30.000	0.571	176.00	2500	31.250	0.571
	176.50	2800	35.000	0.857	176.50	2600	32.500	0.857	176.50	2700	33.750	0.857
	177.00	2950	36.875	1.143	177.00	2750	34.375	1.143	177.00	2800	35.000	1.143
	177.50	3050	38.125	1.429	177.50	2900	36.250	1.429	177.50	2900	36.250	1.429
	178.00	3150	39.375	1.714	178.00	3000	37.500	1.714	178.00	2950	36.875	1.714
	178.50	3200	40.000	2.000	178.50	3100	38.750	2.000	178.50	3000	37.500	2.000
	179.00	3250	40.625	2.286	179.00	3150	39.375	2.286	179.00	3050	38.125	2.286
	179.50				179.50	3200	40.000	2.571	179.50	3100	38.750	2.571
	180.00				180.00	3250	40.625	2.857	180.00			
	180.50				180.50	3300	41.250	3.143	180.50			
20	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000
	175.50	1900	23.750	0.286	175.50	1800	22.500	0.286	175.50	1750	21.875	0.286
	176.00	2000	25.000	0.571	176.00	1950	24.375	0.571	176.00	1850	23.125	0.571
	176.50	2200	27.500	0.857	176.50	2150	26.875	0.857	176.50	2050	25.625	0.857
	177.00	2300	28.750	1.143	177.00	2300	28.750	1.143	177.00	2175	27.188	1.143
	177.50	2400	30.000	1.429	177.50	2400	30.000	1.429	177.50	2250	28.125	1.429
	178.00	2450	30.625	1.714	178.00	2500	31.250	1.714	178.00	2300	28.750	1.714
	178.50	2500	31.250	2.000	178.50	2550	31.875	2.000	178.50	2350	29.375	2.000
	179.00	2550	31.875	2.286	179.00	2600	32.500	2.286	179.00	2400	30.000	2.286
	179.50				179.50	2650	33.125	2.571	179.50	2450	30.625	2.571

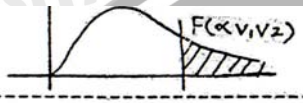
	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000
	175.50	1750	21.875	0.286	175.50	1650	20.625	0.286	175.50	1600	20.000	0.286
	176.00	1850	23.125	0.571	176.00	1750	21.875	0.571	176.00	1700	21.250	0.571
	176.50	2000	25.000	0.857	176.50	1950	24.375	0.857	176.50	1900	23.750	0.857
30	177.00	2100	26.250	1.143	177.00	2100	26.250	1.143	177.00	2050	25.625	1.143
	177.50	2150	26.875	1.429	177.50	2200	27.500	1.429	177.50	2175	27.188	1.429
	178.00	2175	27.188	1.714	178.00	2270	28.375	1.714	178.00	2250	28.125	1.714
	178.50	2200	27.500	2.000	178.50	2320	29.000	2.000	178.50	2300	28.750	2.000
	179.00				179.00	2350	29.375	2.286	179.00			
	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000
	175.50	1600	20.000	0.286	175.50	1550	19.375	0.286	175.50	1500	18.750	0.286
	176.00	1700	21.250	0.571	176.00	1650	20.625	0.571	176.00	1650	20.625	0.571
	176.50	1850	23.125	0.857	176.50	1800	22.500	0.857	176.50	1850	23.125	0.857
40	177.00	1950	24.375	1.143	177.00	1900	23.750	1.143	177.00	2000	25.000	1.143
	177.50	2000	25.000	1.429	177.50	2000	25.000	1.429	177.50	2075	25.938	1.429
	178.00	2025	25.313	1.714	178.00	2050	25.625	1.714	178.00	2125	26.563	1.714
	178.50	2050	25.625	2.000	178.50	2080	26.000	2.000	178.50			
	179.00				179.00	2100	26.250	2.286	179.00			
	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000	175.00	0.000	0.000	0.000
	175.50	1450	18.125	0.286	175.50	1500	18.750	0.286	175.50	1450	18.125	0.286
	176.00	1550	19.375	0.571	176.00	1600	20.000	0.571	176.00	1550	19.375	0.571
	176.50	1700	21.250	0.857	176.50	1750	21.875	0.857	176.50	1700	21.250	0.857
50	177.00	1800	22.500	1.143	177.00	1850	23.125	1.143	177.00	1825	22.813	1.143
	177.50	1900	23.750	1.429	177.50	1900	23.750	1.429	177.50	1900	23.750	1.429
	178.00	1950	24.375	1.714	178.00	1950	24.375	1.714	178.00	1925	24.063	1.714
	178.50				178.50	1975	24.688	2.000	178.50			

Lampiran 2. Data kekuatan impak

Fraksi Volume Silikon Dioksida (%)	Pengulangan Data	30-α (°)	β (°)	α_o (°)	α (°)	A' (N.m)	f (N.m)	A (N.m)	A_k (N.mm/mm^2)
10	1	26.2	30.0	3.0	3.8	4.408	3.525	0.882	6.947
	2	26.0	30.0	3.0	4.0	4.624	3.525	1.099	8.653
	3	26.2	30.0	3.0	3.8	4.408	3.525	0.882	6.947
20	1	25.8	30.0	3.0	4.2	4.839	3.525	1.314	10.348
	2	25.6	30.0	3.0	4.4	5.053	3.525	1.528	12.030
	3	25.7	30.0	3.0	4.3	4.946	3.525	1.421	11.190
30	1	25.5	30.0	3.0	4.5	5.159	3.525	1.634	12.866
	2	25.4	30.0	3.0	4.6	5.265	3.525	1.740	13.699
	3	25.4	30.0	3.0	4.6	5.265	3.525	1.740	13.699
40	1	26.2	30.0	3.0	3.8	4.408	3.525	0.882	6.947
	2	26.1	30.0	3.0	3.9	4.516	3.525	0.991	7.802
	3	26.3	30.0	3.0	3.7	4.299	3.525	0.773	6.089
50	1	26.6	30.0	3.0	3.4	3.970	3.525	0.444	3.498
	2	26.8	30.0	3.0	3.2	3.748	3.525	0.223	1.755
	3	26.6	30.0	3.0	3.4	3.970	3.525	0.444	3.498

Lampiran 3. Tabel distribusi F (α; v_1; v_2) untuk α = 5%

TABEL F UNTUK α = 5 %



V2 \ V1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	~
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	[illegible].12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	~
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	~
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
~	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Lampiran 4. Alat dan Bahan yang Digunakan

- Alat yang Digunakan

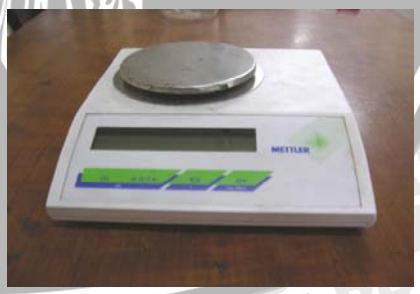
Cetakan Spesimen Uji Tarik

Cetakan Spesimen Uji Impak

Gelas Ukur

Pipet

Jangka Sorong



Timbangan *Digital*

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Alat Uji Impak

Alat Uji Tarik

- Bahan yang Digunakan

Silikon Dioksida

Epoxy Resin

Katalis

Lampiran 5. Foto spesimen uji tarik dengan variasi fraksi volume silikon dioksida

Spesimen uji tarik dengan variasi fraksi volume silikon dioksida sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%

Patahan spesimen uji tarik dengan 10% fraksi volume silikon dioksida

Patahan spesimen uji tarik dengan 20% fraksi volume silikon dioksida

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Patahan spesimen uji tarik dengan 30% fraksi volume silikon dioksida

Patahan spesimen uji tarik dengan 40% fraksi volume silikon dioksida

Patahan spesimen uji tarik dengan 50% fraksi volume silikon dioksida

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 6. Foto spesimen uji impak dengan variasi fraksi volume silikon dioksida

Spesimen uji impak dengan variasi fraksi volume silikon dioksida sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%

Patahan spesimen uji impak dengan 10% fraksi volume silikon dioksida

Patahan spesimen uji impak dengan 20% fraksi volume silikon dioksida

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Patahan spesimen uji impak dengan 30% fraksi volume silikon dioksida

Patahan spesimen uji impak dengan 40% fraksi volume silikon dioksida

Patahan spesimen uji impak dengan 50% fraksi volume silikon dioksida

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 7. Perhitungan komposisi spesimen

Komposisi *filler* dan matrik komposit menggunakan fraksi berat, yaitu :

- *Filler* : 10 % atau 0,1
- Matrik : 90 % atau 0,9

Sehingga berat kompositnya adalah 100 %.

Diketahui bahwa :

- Berat jenis dari *filler* (ρ_f) : 2,2 gr/cm^3
- Berat Jenis dari Matrik (ρ_m) : 1,2 gr/cm^3

Jika :

W_c adalah berat komposit

W_f adalah berat *filler*

W_m adalah berat matrik

V_c adalah volume komposit

V_f adalah volume *filler*

V_c adalah volume matrik

Maka :

$W_f + W_m = W_c$

$0,1 + 0,9 = 1$

Dengan :

V = berat (W) / densitas(ρ)

Maka :

$V_f = W_f / \rho_f$

$= 0,1 / 2,2$

$= 0,045$

$V_m = W_m / \rho_m$

$= 0,9 / 1,2$

$= 0,750$

Diketahui bahwa volume komposit adalah :

$V_f + V_m = V_c$

$0,045 + 0,750 = 0,975$

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Jika volume spesimen sebenarnya :

- Tarik

V_{cTarik} = 18,75 cm^3

$V_{fTarik} = \frac{0,045}{0,795} x 18,75$

= 1,061 cm^3

$V_{mTarik} = \frac{0,750}{0,795} x 18,75$

= 17,689 cm^3

Maka,

W_f = ρ_f x V_{fTarik}

= 2,2 gr/cm^3 x 1,061 cm^3

= 2,335 gr

W_m = ρ_m x V_{mTarik}

= 1,2 gr/cm^3 x 17,689 cm^3

= 38,915 gr

- Impak

V_{cImpak} = 20,483 cm^3

$V_{fImpak} = \frac{0,045}{0,795} x 20,483$

= 1,159 cm^3

$V_{mImpak} = \frac{0,750}{0,795} x 20,483$

= 19,324 cm^3

Maka,

W_f = ρ_f x V_{fImpak}

= 2,2 gr/cm^3 x 1,159 cm^3

= 2,551 gr

W_m = ρ_m x V_{mImpak}

= 1,2 gr/cm^3 x 19,324 cm^3

= 23,188 gr

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA