

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME PADA KOMPOSIT Matriks *EPOXY* DAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOKSIDA (TiO_2) METODE *OPEN* *MOLDING* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK MATERIAL

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Tahap Sarjana



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG

2021



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN
TINGGI, FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS ANDALAS
JURUSAN TEKNIK MESIN
Kampus Limau Manis, PADANG 25163
Telp. 0751-72497 Fax. 0751-72566

PENETAPAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas diberikan kepada :

Nama : Rahmat Alfin Nur
Nomor BP : 1510912076
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Ilhamdi, M.Eng
Dosen Pembimbing II : Dony Hidayat, M.T (Pembimbing LAPAN)
Jangka Waktu Penyelesaian : ± 6 Bulan
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Pada Komposit Matriks *Epoxy* Dan Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) Metode *Open Molding* Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Material
Uraian Tugas Akhir : 1. Studi Literatur
2. Pemilihan Metoda Penelitian
3. Melakukan Pengujian Spesimen
4. Analisa Hasil Pengujian
5. Kesimpulan dan Saran
6. Penulisan Laporan

Padang, Februari 2021

Pembimbing Utama

Dr. Eng. Ilhamdi, M.Eng
NIP. 19820323 200604 1 004

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME PADA KOMPOSIT Matriks *EPOXY*
DAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOKSIDA (TiO_2) METODE *OPEN MOLDING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK MATERIAL**

Oleh :

RAHMAT ALFIN NUR

No. BP : 1510912076

Tugas Akhir ini diajukan untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Teknik
Mesin di Universitas Andalas

Padang, Februari 2021

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng Ilhamdi, M.Eng

NIP. 19820323 200604 1 004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin

Devi Chandra Ph.D

NIP. 19720720 200604 1 002

Iskandar R. M.T.

NIP. 19700709 199512 1 001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Rahmat Alfin Nur

NBP : 1510912076

Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Mesin

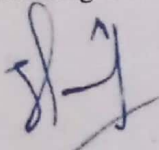
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya dengan judul:

“Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Pada Komposit Matriks *Epoxy* Dan Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) Metode *Open Molding* Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Material”

Benar bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,
Pembimbing Utama Tugas Akhir



Dr. Eng Ihamdi, M.Eng
NIP. 198203232006041004

Padang, 29 Desember 2020
Yang membuat pernyataan,



Rahmat Alfin Nur
NIM. 1510912076

ABSTRAK

Rahmat Alfin Nur^a, Ilhamdi^a, Dony Hidayat^b,

^aJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163

^bPusat Teknologi Penerbangan, Pustekbang – LAPAN Rumpin, Bogor 16350

Nanokomposit merupakan proses penggabungan dua atau lebih material antara matriks dengan perkuatan (*reinforced*) serbuk nanopartikel untuk membentuk material baru yang lebih bermanfaat dalam industri manufaktur maupun rekayasa material. Nanokomposit berbasis polimer memiliki banyak keunggulan seperti dapat menghasilkan material komposit yang ringan, kuat, ramah lingkungan, serta ekonomis. Dalam penelitian ini, komposit epoxy dan titanium dioksida (TiO₂), diproduksi dalam cetakan terbuka menggunakan panel cetakan. Metode ini juga dikenal sebagai *open molding process*. Setelah komposit kering, panel komposit dipotong sesuai dengan standar ASTM of Rigid Plastics untuk spesimen uji tarik, uji tekan, uji lentur dan uji geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan %vol TiO₂ terhadap komposit meningkatkan nilai densitas dan porositas, sedangkan pada *mechanical properties* komposit EP+TiO₂ variasi fraksi volume TiO₂ 0%, 4% dan 8% masing-masing untuk kekuatan tarik 25,67 MPa, 27,83 MPa, 20,51 MPa. Kekuatan tekan 61,45 MPa, 57,57 MPa, 51,94 MPa. Kekuatan lentur 43,05 N, 29,62 N, 31,38 N. Kekuatan geser 14,43 MPa, 13,06 MPa, 7,30 MPa. Hasil tersebut menunjukkan sifat mekanik mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya kandungan TiO₂ di dalam komposit. Hal lain juga dipengaruhi oleh tingkat homogenitas campuran, terdapatnya *void*, porositas, serta aglomerasi partikel didalam komposit.

Kata kunci : Nanokomposit, TiO₂, *Open Molding*, *Mechanical properties*



KATA PENGANTAR



Puji beserta syukur kami ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini tidak mungkin terlaksana tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua kami yang telah memberi semangat, motivasi dan do'anya untuk kami.
2. Bapak Dr.Eng.Ilhamdi, M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, perhatian, pengarahan, dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dony Hidayat, M.T, Bapak Afid Nugroho, M.Eng sebagai pendamping pembimbing dari LAPAN yang telah memberikan bimbingan, perhatian, pengarahan, dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Rekan-rekan tim tugas akhir dan Composite Project atas kebersamaan, motivasi, dan kerjasama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh staff Laboratorium Aerostruktur Pustekbang yang telah membantu dalam pengujian dan pengambilan data.
6. Seluruh staf pengajar dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2015 “M-28” dan semua mahasiswa jurusan teknik mesin FT-UA.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat di sebutkan namanya satu persatu.

Penulis berdoa semoga segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan mendapat balasan pahala oleh Allah Subhanahu wa Ta'ala, serta kesuksesan selalu diberikan-Nya kepada kita. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak luput dari kekurangan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, terutama bagi penulis dan lingkungan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Aamiin

Padang, 12 April 2020



Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENETAPAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Manfaat.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Komposit.....	5
2.1.1 Pengertian komposit	5
2.1.2 Unsur Penyusun Komposit	5
2.1.3 Klasifikasi komposit.....	6
2.2 Tinjauan Tentang Polimer	10
2.2.1 Pengertian Material Polimer	10
2.2.2 Klasifikasi Material Polimer	10
2.2.3 Polimer <i>Epoxy</i> Resin.....	11
2.3 Tinjauan <i>Titanium Dioxide</i> (TiO_2)	12
2.3.1 Titanium Dioksida	12
2.3.2 Struktur Kristal TiO_2	13
2.4 Karakteristik Material Komposit.....	14
2.4.1 Densitas dan Porositas	14
2.4.2 Sifat Mekanik Komposit.....	15

2.5 Tinjauan Penelitian Sebelumnya	16
BAB III METODOLOGI	18
3.1 Skema / Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Peralatan dan Bahan	20
3.2.1 Peralatan Penelitian.....	22
3.2.2 Bahan	23
3.3 Proses Pembuatan Spesimen	24
3.4 Penyiapan Spesimen Uji.....	25
3.4.1 Spesimen Uji Densitas	26
3.4.2 Spesimen Uji Tarik	26
3.4.3 Spesimen Uji Tekan.....	27
3.4.4 Spesimen Uji Lentur	27
3.4.5 Spesimen Uji Geser	28
3.5 Pengujian Komposit	28
3.5.1 Pengukuran Densitas.....	28
3.5.2 Pengujian Tarik (<i>Tensile Strength Test</i>)	29
3.5.3 Pengujian Tekan (<i>Compressive Test</i>)	30
3.5.4 Pengujian Lentur (<i>Three point bending Test</i>).....	31
3.5.4 Pengujian Geser (<i>Shear Strength Test</i>).....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Pengujian densitas dan porositas	34
4.2 Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>)	36
4.2.1 Uji Spesimen Tarik <i>Epoxy</i> 100% : 0 % TiO_2	36
4.2.2 Uji Spesimen Tarik <i>Epoxy</i> 96% : 4% TiO_2	37
4.2.3 Uji Spesimen Tarik <i>Epoxy</i> 92% : 8 % TiO_2	39
4.2.4 Perbandingan Hasil Uji Tarik Variasi % Volume Komposit.....	39
4.3 Pengujian Tekan (<i>Compress Test</i>).....	40
4.3.1 Uji Spesimen Tekan <i>Epoxy</i> 100% : 0 % TiO_2	40
4.3.2 Uji Spesimen Tekan <i>Epoxy</i> 96% : 4 % TiO_2	40
4.3.3 Uji Spesimen tekan <i>Epoxy</i> 92% : 8 % TiO_2	41
4.3.4 Perbandingan Hasil Uji Tekan Variasi % Volume Komposit	42
4.4 Pengujian kekuatan lentur (<i>Flexural Test</i>)	43

4.4.1 Uji Spesimen Lentur <i>Epoxy</i> 100% : 0 % TiO ₂	43
4.4.2 Uji Spesimen Lentur <i>Epoxy</i> 96% : 4 % TiO ₂	44
4.4.3 Uji Spesimen Lentur <i>Epoxy</i> 92% : 8 % TiO ₂	45
4.4.4 Perbandingan Hasil Uji Lentur Variasi % Volume Komposit.....	45
4.5 Pengujian Geser (<i>Shear Test</i>)	47
4.5.1 Uji Spesimen Geser 100% : 0 % TiO ₂	47
4.5.2 Uji Spesimen Geser <i>Epoxy</i> 96% : 4 % TiO ₂	48
4.5.3 Uji Spesimen Geser <i>Epoxy</i> 92% : 8 % TiO ₂	48
4.5.4 Perbandingan Rata-Rata Uji Geser Variasi % volume Komposit	49
BAB V PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN A FOTO SAMPEL KOMPOSIT <i>EPOXY</i>-TiO₂.....	56
LAMPIRAN B PERHITUNGAN	64
LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN SAMPEL KOMPOSIT	68



DAFTAR GAMBAR

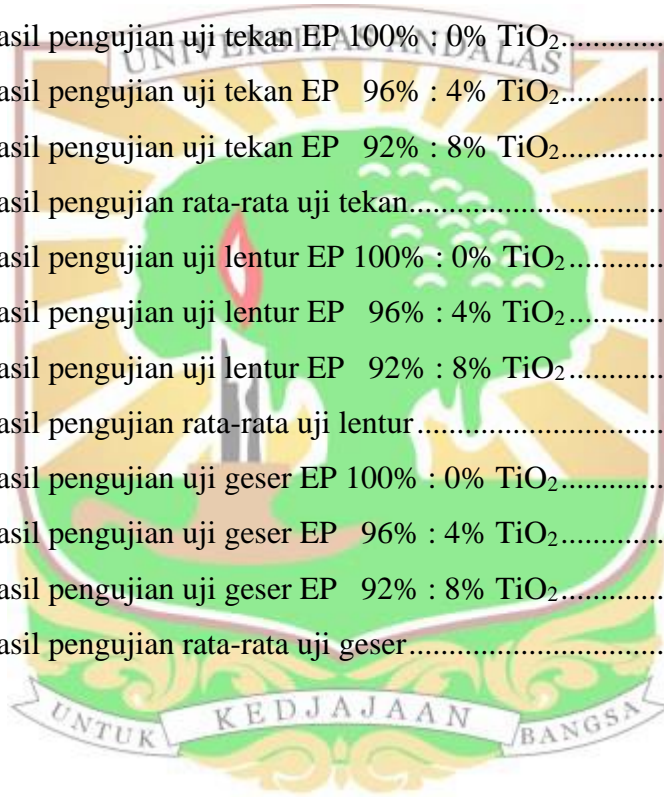
Gambar 2.1	Klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya	6
Gambar 2.2	Komposit yang diperkuat partikel	7
Gambar 2.3	Komposit yang diperkuat serat (<i>fiber</i>).....	8
Gambar 2.4	Susunan serat <i>continous</i>	8
Gambar 2.5	Susunan serat <i>discontinous</i>	8
Gambar 2.6	Susunan serat <i>random</i>	9
Gambar 2.7	Struktur <i>laminates</i>	9
Gambar 2.8	Struktur <i>sandwich</i>	10
Gambar 2.9	Ikatan Polimer <i>Epoxy</i>	12
Gambar 2.10	Representasi polyhedral dari (a) <i>rutile</i> (b) <i>brookite</i> (c) <i>anata</i> ..	13
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	18
Gambar 3.2	Timbangan digital.....	20
Gambar 3.3	Cetakan komposit akrilik.....	20
Gambar 3.4	Gelas ukur.....	21
Gambar 3.5	Digital Calipper	21
Gambar 3.6	Mikrometer Digital.....	21
Gambar 3.7	Densitometer.....	22
Gambar 3.8	<i>Universal Testing Machine</i>	22
Gambar 3.9	<i>Band saw oscar</i>	23
Gambar 3.10	Mesin Amplas RK7866	23
Gambar 3.11	Serbuk Titanium Oksida	23
Gambar 3.12	Resin dan hardener <i>epoxy</i>	24
Gambar 3.13	<i>Wax</i>	24
Gambar 3.14	Cetakan	25
Gambar 3.15	Sampel uji densitas	26
Gambar 3.16	Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638.....	26
Gambar 3.17	Dimensi Spesimen uji tekan ASTM D-795.....	27
Gambar 3.18	Dimensi spesimen uji lentur ASTM D-790.....	27
Gambar 3.19	Dimensi spesimen uji geser ASTM D-5379.....	28
Gambar 3.20	Uji Tarik	30
Gambar 3.21	Uji Tekan.....	31

Gambar 3.22 Uji Lentur	32
Gambar 3.23 Uji Geser.....	33
Gambar 4.1 Densitas Komposit.....	35
Gambar 4.2 Persentase porositas komposit.....	35
Gambar 4.3 Perbandingan rata-rata (a) <i>tensile strength</i> (b) <i>tensile modulus</i>	39
Gambar 4.4 Perbandingan rata-rata (a) <i>compress strength</i> (b) <i>modulus</i>	42
Gambar 4.5 Perbandingan rata-rata (a) <i>flexural strength</i> (b) <i>modulus</i>	46
Gambar 4.6 Perbandingan rata-rata (a) <i>shear strength</i> (b) <i>shear modulus</i> ..	50



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Properties Epoxy Bisphenol Epichlorohydrin</i>	12
Tabel 2.2	Karakteristik Nanopartikel TiO ₂	13
Tabel 4.1	Hasil rata-rata pengujian densitas dan porositas	36
Tabel 4.2	Hasil pengujian uji tarik EP 100% : 0% TiO ₂	38
Tabel 4.3	Hasil pengujian uji tarik EP 96% : 4% TiO ₂	39
Tabel 4.4	Hasil pengujian uji tarik EP 92% : 8% TiO ₂	40
Tabel 4.5	Hasil pengujian rata-rata uji tarik.....	40
Tabel 4.6	Hasil pengujian uji tekan EP 100% : 0% TiO ₂	42
Tabel 4.7	Hasil pengujian uji tekan EP 96% : 4% TiO ₂	43
Tabel 4.8	Hasil pengujian uji tekan EP 92% : 8% TiO ₂	43
Tabel 4.9	Hasil pengujian rata-rata uji tekan.....	44
Tabel 4.10	Hasil pengujian uji lentur EP 100% : 0% TiO ₂	46
Tabel 4.11	Hasil pengujian uji lentur EP 96% : 4% TiO ₂	47
Tabel 4.12	Hasil pengujian uji lentur EP 92% : 8% TiO ₂	47
Tabel 4.13	Hasil pengujian rata-rata uji lentur	48
Tabel 4.14	Hasil pengujian uji geser EP 100% : 0% TiO ₂	50
Tabel 4.15	Hasil pengujian uji geser EP 96% : 4% TiO ₂	50
Tabel 4.16	Hasil pengujian uji geser EP 92% : 8% TiO ₂	51
Tabel 4.17	Hasil pengujian rata-rata uji geser.....	52



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
ρ_{aktual}	Densitas Aktual	cm/g ³
ρ_{teoritis}	Densitas Teoritis	cm/g ³
ρ_{ep}	Densitas <i>Epoxy</i>	cm/g ³
V	volume	mm ³
\emptyset	Porositas	%
σ_{tarik}	Tegangan Tarik	MPa
P	Beban	N
A_0	Luas Penampang	mm ²
ϵ	regangan	mm/mm
ΔL	Pertambahan Panjang	mm
L_0	Jarak <i>gage length</i>	mm
E	Modulus Elastisitas	GPa
$\Delta\sigma$	Selisih Tegangan	MPa
$\Delta\epsilon$	Selisih Regangan	MPa
F^{CU}	Tegangan Tekan	MPa
P_f	Beban yang diberikan	N
w	Lebar Spesimen	mm
h	Tebal spesimen	mm
E^C	Modulus tekan	MPa
P_1	Beban pada ϵX_1	N
P_2	Beban pada ϵX_2	N
ϵX_1	Aktual <i>Strain</i> terdekat ujung bawah	mm
ϵX_2	Aktual <i>Strain</i> terdekat ujung bawah	MPa
σ_f	Tegangan <i>Flexural</i>	MPa
L	Panjang <i>Support Span</i>	mm
b	Lebar Spesimen <i>Bending</i>	mm
d	Tebal Spesimen <i>Bending</i>	mm
δ	Defleksi	mmH

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam merupakan material yang umum digunakan, Penggunaan material logam selalu menjadi pertimbangan, karena keberadaan logam di alam sangat terbatas maka untuk meningkatkan efisiensi terhadap suatu produk, para peneliti mulai melakukan pengembangan terhadap penggunaan material dari bahan serat maupun dari bahan pengisi (*filler*) yang dikenal dengan material komposit.

Penerapan material komposit sebagai material pengganti logam sudah sangat banyak diterapkan dan terutama sekali dalam dunia industri, seperti dalam industri otomotif, penerbangan, perkapalan, kontruksi, maupun industri. Material komposit sangat banyak diterapkan sebagai material pengganti logam dikarenakan material komposit memiliki sifat mekanik yang baik, massa jenis yang lebih ringan dibandingkan dengan material logam, tahan korosi sehingga umur pakai lebih panjang, dan juga ramah lingkungan [1].

Komposit adalah perpaduan dari dua bahan atau lebih untuk menghasilkan material baru yang lebih baik dari unsur penyusunnya. Perpaduan ini dapat menghasilkan sifat baru yang tidak ditemui pada masing-masing material penyusunnya [2]. Sedangkan untuk nanokomposit dibuat dengan menyisipkan nanopartikel (*nano filler*) ke dalam sebuah material makroskopik (matriks). *Filler* merupakan bahan pengisi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit yang mendapatkan ukuran hingga skala nanometer, biasanya berupa serbuk.

Nanokomposit adalah struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar bentuk penyusun struktur yang berbeda. Nanokomposit berbasis polimer memiliki banyak keunggulan dibandingkan material komposit konvensional, makro maupun mikro. Keunggulannya antara lain meningkatkan sifat mekanik, sifat elektrik, konduktivitas termal, resistensi terhadap suhu tinggi. Semua keunggulan tergantung pada struktur dan sifat, serta komposisi penyusun material nanokomposit [3].

Bahan komposit berbasis polimer dengan nano *filler* yang digunakan didalam penelitian ini adalah titanium dioksida (TiO_2). TiO_2 merupakan salah satunya nanomaterial paling penting yang telah menarik perhatian besar karena sifatnya yang unik, yaitu; sifat mekanik, optik, dielektrik, katalitik, spektral, struktural, anti korosi serta biokompabilitas. TiO_2 sudah banyak digunakan dalam industri selama bertahun-tahun, jika dibandingkan dengan pengisi baru yang lebih baru yang juga dapat digunakan untuk memperkuat matriks [4]. Karena alasan ini, TiO_2 mudah ditemukan di pasaran dan dapat digunakan untuk menghasilkan sistem komposit untuk aplikasi langsung.

Untuk menunjang pembuatan material komposit dalam penelitian ini digunakan matriks *epoxy*. Pemilihan *epoxy* sebagai bahan dasar pembuatan bahan komposit adalah didasarkan pada kekuatan dan kekakuan resin *epoxy* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan polimer jenis lain (poliester, vinil ester). Matriks ini memiliki kelebihan diantaranya mempunyai kelebihan daya tahan kimia serta stabilitas dimensi yang baik, sifat-sifat listrik yang baik, mempunyai modulus tinggi, ketahanan thermal dan *chemical resistant*. Selain itu matriks ini memiliki ketahanan aus dan ketahanan kejut yang lebih baik apabila dibandingkan dengan matriks yang lain. Adapun kelemahan atau kekurangan dari resin *epoxy* yaitu matriks ini getas patahan, mudah tumbuh retakan, tidak liat, tidak ulet dan dari segi harganya yang lebih mahal dibandingkan dengan resin yang lain [4].

Pengembangan dan pembuatan komposit ini perlu ditunjang pembuktian studi mengenai sifat fisis dan mekanis yang baik agar bisa dimanfaatkan lebih luas khususnya sebagai pertimbangan material pembuatan *floating* pesawat amfibi. Perlu dilakukan karakterisasi sifat-sifat mekanis yakni pengujian tarik, pengujian tekan, pengujian geser untuk mendapatkan nilai-nilai mekanik terutama kekuatan dan ketahanan material komposit terhadap beban mekanik *tensile strength* (kekuatan tarik), *compress strength* (kekuatan tekan), *shear strength* (kekuatan geser), *flexural strength* (kekuatan lentur), modulus elastisitas, *poission ratio*, dan *failure mode* (mode kerusakan) yang terjadi pada material komposit.

Berdasarkan hal tersebut, penulis ingin meneliti material komposit dengan menggabungkan nanopartikel TiO_2 dengan matriks *epoxy*. Dari penelitian ini

diharapkan nantinya diperoleh karakteristik material komposit yang memiliki kekuatan serta modulus yang tinggi, ringan, tangguh sehingga dapat menjadi referensi maupun pengembangan dan pemanfaatan komposit *epoxy-TiO₂* dibidang industri. Penelitian ini dilakukan di Pusat Teknologi Penerbangan / Pustekbang LAPAN, Bogor, Jawa Barat.

1.2 Tujuan

Mengetahui kekuatan dari komposit *epoxy-TiO₂* serta mengetahui pengaruh fraksi volume TiO_2 terhadap karakteristik fisik dan mekanik komposit *epoxy-TiO₂*.

1.3 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah diperolehnya nilai kekuatan komposit serta mengetahui pengaruh variasi fraksi volume TiO_2 terhadap sifat fisik dan mekanik komposit. Dapat menjadi referensi maupun pengembangan lebih lanjut dari material komposit *epoxy-TiO₂* di bidang industri.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah yang diteliti dibatasi pada :

1. *Filler* yang digunakan adalah nanopartikel TiO_2 kisaran 30-50nm
2. Matriks yang digunakan *epoxy*
3. Metode yang digunakan yakni *open molding process*
4. Pengujian mekanik yang dilakukan adalah uji tarik, uji tekan, uji lentur, uji geser.
5. Variasi pembuatan komposit dengan penambahan persentase fraksi volume TiO_2 yakni 0 %, 4 %, 8 %.
6. Pengujian mekanik menggunakan UTM *Tensilon (Universal Testing Machine)* dan pengujian fisik menggunakan densitometer.
7. Penelitian ini tidak membahas tentang proses kimia suatu bahan / material.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir secara garis besar terbagi atas lima bagian, yakni :

1. BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang permasalahan, tujuan, manfaat, batasan permasalahan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang menjadi acuan dalam penelitian.

3. BAB III METODOLOGI

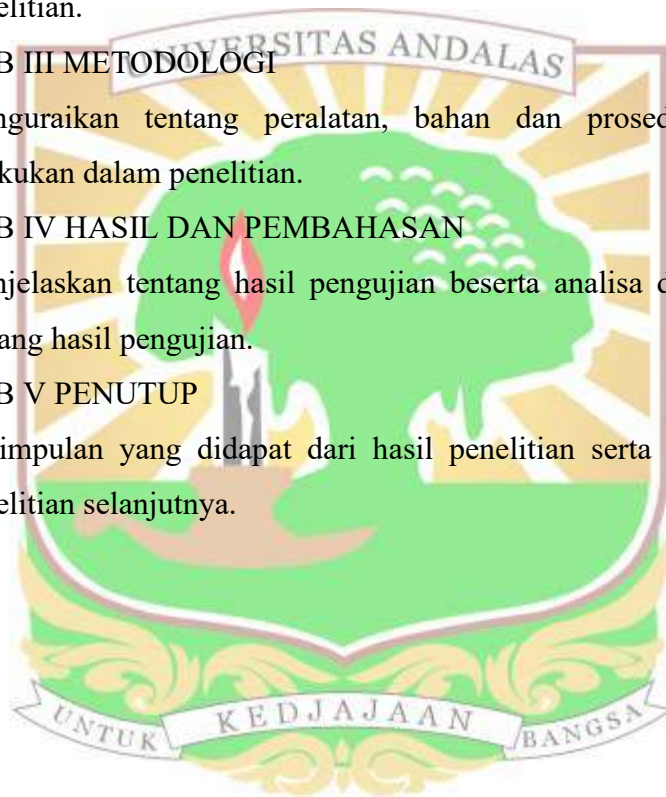
Menguraikan tentang peralatan, bahan dan prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang hasil pengujian beserta analisa dan pembahasan tentang hasil pengujian.

5. BAB V PENUTUP

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian serta saran mengenai penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Komposit

Pada bagian ini akan membahas mengenai pengertian material, unsur penyusun material komposit, klasifikasi komposit, dan faktor-faktor yang mempengaruhi sifat komposit.

2.1.1 Pengertian komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut [2]. Dalam pengertian lain komposit juga dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari campuran atau kombinasi dua atau lebih material baik secara mikro atau makro, dimana sifat material tersebut berbeda bentuk dan komposisi kimia dari zat asalnya [5].

2.1.2 Unsur Penyusun Komposit

Komposit tersusun dari berbagai unsur pembentuk, secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian utama, yaitu :

1. Matriks

Matriks merupakan komponen pembentuk dan pengikat dalam komposit. Matriks pada komposit berasal dari berbagai jenis material, seperti polimer, logam maupun keramik. Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai fraksi volume terbesar (dominan). Syarat utama matriks adalah harus mampu meneruskan beban, sehingga serat / partikel dapat melekat pada matriks. Pada dasarnya, matriks dalam komposit berfungsi untuk:

- a) Matriks mengikat *fibres*, menjaga agar tetap sejajar dengan arah tegangan. Beban yang diberikan terhadap komposit akan didistribusikan ke *fibres*, memungkinkan komposit untuk menerima *compression*, *flexural*, maupun *shear force*. Kemampuan komposit untuk menerima berbagai beban tergantung pada matriks sebagai media pentransfer beban dan juga efisiensi dari transfer beban juga berkaitan dengan kualitas ikatan antara matriks dan *fibres*.

- b) Matriks juga melindungi *reinforcing filaments* dari kerusakan mekanik, misalnya abrasi dan juga kondisi lingkungan.
- c) Matriks mengisolasi serat atau serbuk sehingga masing-masing dapat bekerja secara terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat propagasi retak.
- d) Mendistribusikan sifat-sifat tertentu bagi komposit, yaitu: keuletan, kekakuan, ketangguhan dan ketahanan panas.

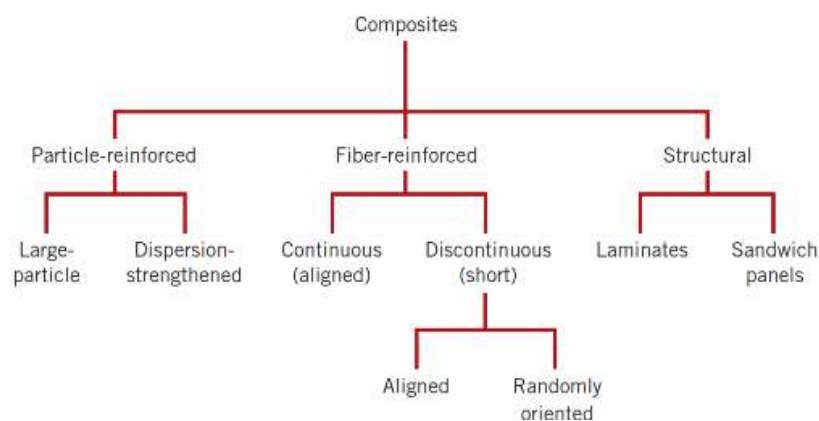
Untuk memilih matriks harus diperhatikan sifat-sifatnya, antara lain seperti tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap guncangan yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matriks. Bahan polimer yang sering digunakan sebagai material matriks dalam komposit ada dua macam adalah termoplastik dan termoset.

2. Reinforcement (penguat)

Reinforcement atau *Filler* atau *Fiber*, salah satu bagian utama dari komposit yang berperan untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Bahan penguat biasanya kaku dan tangguh. Bahan penguat yang umum digunakan adalah jenis partikel, serat-serat alam, serat karbon, serat gelas, keramik dsb.

2.1.3 Klasifikasi komposit

Berdasarkan unsur penguatnya (*reinforcement*), komposit terbagi atas tiga macam. Adapun pembagian komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya [2].

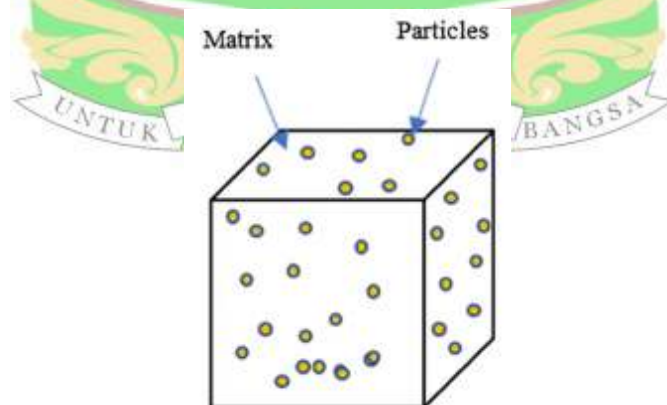
1. *Particulate Reinforced Composite*

Particulate Reinforced Composite merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk partikel atau serbuk. Partikel sebagai bahan penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit partikel yakni ukuran, bentuk, dan material partikel.

Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor, antara lain:

1. Ukuran dan bentuk partikel
2. Sifat-sifat atau bahan partikel
3. Rancangan partikel
4. Rasio perbandingan antara partikel
5. Jenis matrik yang digunakan

Keunggulan komposit yang menggunakan partikel antara lain dapat meningkatkan sifat fisis material seperti kekuatan mekanis, dan modulus elastisitas, serta kekuatan komposit lebih homogen (merata). Dalam pembuatan komposit partikel sangat penting menghilangkan unsur udara dan air karena partikel yang berongga atau yang memiliki lubang udara kurang baik jika digunakan dalam campuran komposit. Adanya udara dan air pada sela-sela partikel dalam komposit dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan retak material. Bentuk dari komposit yang diperkuat partikel dapat dilihat pada Gambar 2.2.

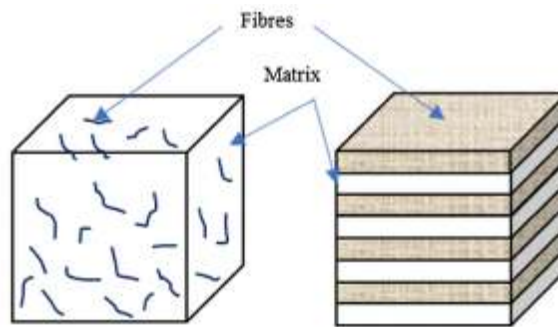


Gambar 2.2 Komposit yang diperkuat partikel [6].

2. *Fiber Reinforced Composite*

Komposit *fiber reinforced composite* merupakan komposit yang memiliki penguat berupa serat (*fiber*). Komposit ini terdiri dari dua komponen penyusun

yaitu matriks dan serat. Adapun gambar dari komposit yang diperkuat serat (*fiber*) dapat dilihat pada Gambar 2.3.

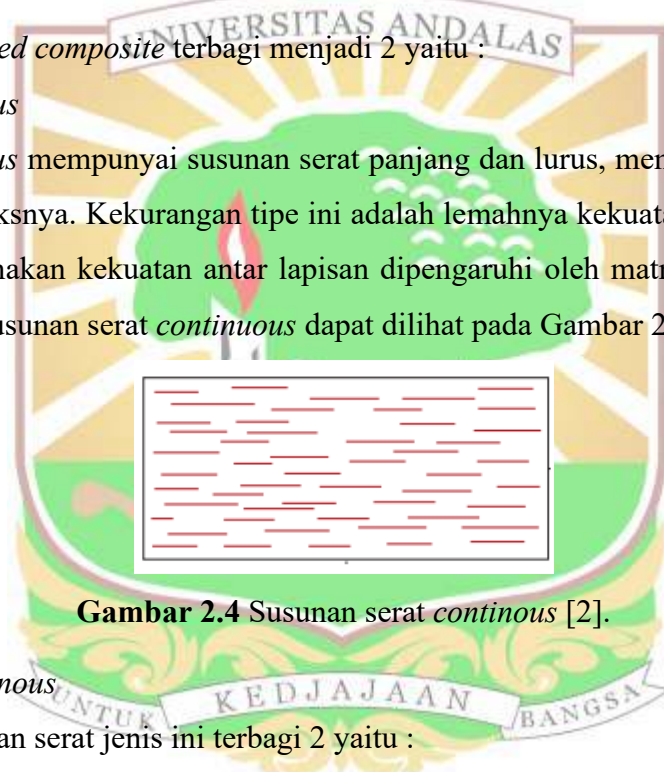


Gambar 2.3 Komposit yang diperkuat serat (*fiber*) [6].

Fiber reinforced composite terbagi menjadi 2 yaitu :

a) *Continuous*

Continuous mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk laminar diantara matriksnya. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan, hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya. Adapun gambar dari susunan serat *continuous* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



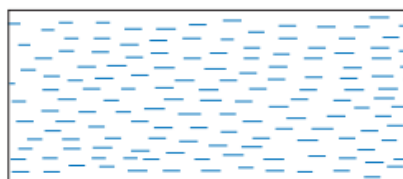
Gambar 2.4 Susunan serat *continuous* [2].

b) *Discontinous*

Penyusunan serat jenis ini terbagi 2 yaitu :

- *Discontinous and aligned*

Susunan *discontinous and aligned* memiliki kekuatan dan modulus lebih rendah dari pada serat *continuous*. Adapun gambar dari susunan serat *discontinous* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Susunan serat *discontinous* [2].

- *Discontinuous and randomly orientied*

Susunan serat *random* kemungkinan memiliki sifat mekanik dan fisik yang sama dalam segala arah. Adapun gambar dari susunan serat *random* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Susunan serat *random* [2].

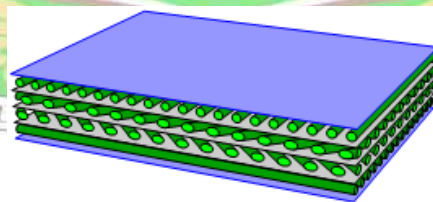
3. *Structural Reinforced Composite*

Komposit *structural reinforced composite* sekurang-kurangnya terdiri dari dua lapisan material yang berbeda dan digabung secara bersama-sama. *Structural reinforced composite* dibentuk dari lapisan-lapisan dengan berbagai macam arah penyusunan serat [5].

Lapisan tersebut yaitu :

a) *Laminates*

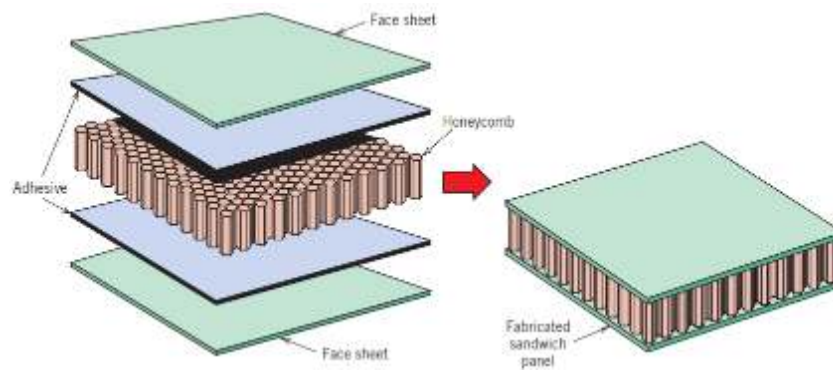
Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik sendiri. Struktur *laminata* ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Struktur *laminates* [5]

b) *Sandwich Panels*

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari tiga lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* dibagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core*. Struktur *sandwich panels* ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur *sandwich*. [2].

2.2 Tinjauan Tentang Polimer

2.2.1 Pengertian Material Polimer

Polimer merupakan bahan yang sangat bermanfaat dalam dunia teknik, khususnya dalam bidang industri. Polimer sebagai bahan yang umum digunakan dalam bidang industri dapat digunakan dalam pembuatan produk secara langsung, misalnya pembuatan plastik, pipa PVC, *body* sepeda motor, *body* kapal, dan lain sebagainya. Polimer juga dapat digunakan sebagai material paduan terhadap material lainnya untuk membentuk material komposit. Penggunaan polimer sebagai material paduan dengan kekuatan dan ketangguhan yang sebanding, diperlukan perbaikan sifat mekanik polimer agar terbentuknya sifat mekanik yang lebih baik [7].

Polimer dapat diartikan sebagai kumpulan monomer-monomer yang saling memiliki ikatan satu sama lainnya. Polimer berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata yaitu *poly* dan *meros*. *Poly* berarti banyak dan *meros* berarti bagian-bagian atau unit-unit dasar [8]. Molekul monomer pada polimer bereaksi secara bersama-sama melalui proses kimiawi untuk membentuk suatu rantai linier atau jaringan tiga dimensi dari rantai polimer. Polimer juga dapat diartikan sebagai molekul raksasa yang tersusun dari ikatan kimia sederhana [9].

2.2.2 Klasifikasi Material Polimer

Material polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan ketahanan *thermal*-nya. Klasifikasi material polimer berdasarkan ketahanan termalnya adalah sebagai berikut [10]:

1. Polimer *Thermoplastic*

Polimer *thermoplastic* merupakan jenis polimer yang tidak tahan akan temperatur tinggi dan memiliki rantai hidrokarbon berbentuk lurus. Polimer *thermoplastic* dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan pemberian temperatur tinggi, lalu akan dapat mengeras kembali jika dilakukan pendinginan. Contoh produk polimer *thermoplastic* adalah *polyamid*, *nylon*, *polysurface*, dan lain sebagainya.

2. Polimer *Thermosetting*

Polimer *thermosetting* sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat maupun serbuk. Jenis polimer ini tahan akan temperatur tinggi dan memiliki rantai hidrokarbon yang bercabang. Polimer *thermosetting* tidak dapat mengikuti perubahan temperatur (*irreversible*), ketika telah dilakukan pengerasan maka tidak akan dapat dilunakkan kembali. Polimer *thermosetting* sangat sulit untuk terurai dan didaur ulang. Contoh polimer *thermosetting* adalah resin *epoxy*, *polyester*, *phenolic*, bakelit, dan lain sebagainya.

3. Polimer *Elastromers*

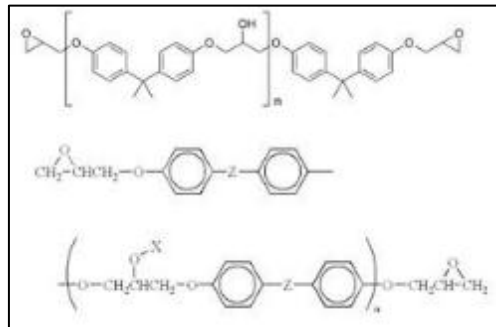
Polimer *elastromers* merupakan jenis polimer yang ketahanan termalnya juga rendah, namun memiliki tingkat elastisitas yang tinggi. Rantai hidrokarbon pada *elastromers* berbentuk jala. Contoh produk polimer *elastromers* adalah karet alam (*rubber*)

2.2.3 Polimer *Epóxy Resin*

Matriks *epoxy* merupakan jenis resin termoset, *epoxy* mempunyai kegunaan yang luas dalam industri kimia teknik, listrik, mekanik, dan sipil sebagai bahan perekat, cat pelapis, dan benda-benda cetakan. Selain itu mempunyai kekuatan yang tinggi, resin epoksi juga mempunyai ketahanan kimia yang baik [3].

Epoxy paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A. Pengeras terdiri dari monomer *polyamine*, contohnya *Triethylenetetramine* (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer

yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat [11]. Polimer epoxy dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Ikatan Polimer Epoxy [12]

Tabel 2.1 Properties Epoxy Bisphenol Epichlorohydrin

Properties	Nilai
Massa Jenis ρ	1.12 - 1.18 g/cm ³
Kekuatan Tarik	25 – 100 Mpa
Modulus Young	2-6 GPa
Persentasi Perpanjangan	1-6 %
Kekuatan Tekan	100-200 Mpa

2.3 Tinjauan Titanium Dioxide (TiO₂)

2.3.1 Titanium Dioksida

Titanium dioksida, disebut juga titanium (IV) dioksida atau titania, adalah titanium dioksida yang terbentuk secara alami namun diekstrak dari *leucocene* dan bijih *ilmenite*. Secara kimia titanium dioksida dituliskan dengan lambang TiO₂. Titanium dioksida bisa didapatkan dengan menggunakan proses sintesis, ada beberapa metode sintesis yang bisa digunakan yaitu metode sol gel yang menggunakan larutan *titanium alkoxides*, metode *hydrothermal*, metode sonokimia, metode *solvothermal*, metode oksidasi langsung, metode *microwave* dan metode *coprecipitation*. macam-macam morfologi yang dimiliki oleh titanium dioksida nanopartikel, *nanorods*, *nanotube*, *nanowire* dan *struktur mesoporous*. [13].

TiO₂ merupakan salah satunya nanomaterial paling penting yang telah menarik perhatian besar karena sifatnya yang unik, yaitu; sifat optik, dielektrik, elektronik, katalitik, spektral, struktural, mekanik, anti korosi serta

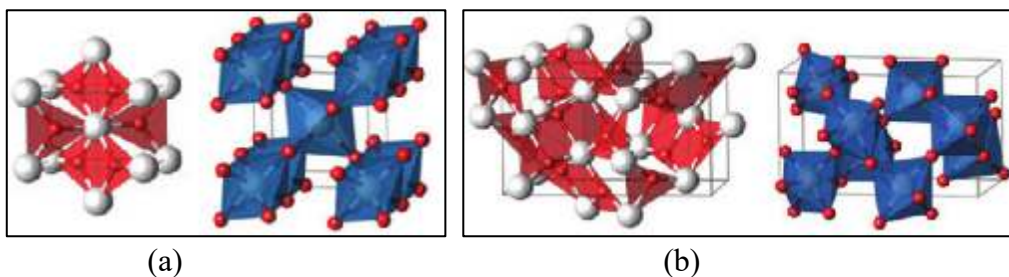
biokompabilitas. TiO_2 sudah banyak digunakan dalam industri selama bertahun-tahun, jika dibandingkan dengan pengisi baru yang lebih baru yang juga dapat digunakan untuk memperkuat matriks (misalnya karbon *nanotube*) [14]. Karena alasan ini, TiO_2 mudah ditemukan di pasaran dan dapat digunakan sebagai pelengkap nano untuk menghasilkan sistem komposit untuk aplikasi langsung. Nanopartikel TiO_2 dapat disintesis dari berbagai metode fisik dan kimia, yang menghasilkan partikel yang berbeda dalam bentuk, ukuran, dan sifat kimia atau fisik [15].

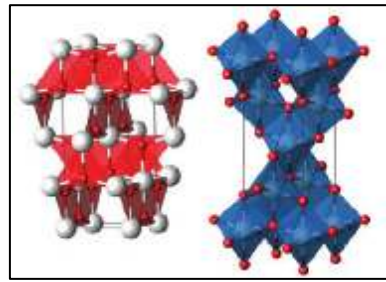
Tabel 2.2 Karakteristik nanopartikel TiO_2 [15]

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Density</i>	4,2 - 4,5 g.cm^{-3}
<i>Tensile Strength (Mpa)</i>	350
<i>Compressive Strength (MPa)</i>	650 – 680
Modulus (Gpa)	200-300
<i>Comp. Strength (MPa)</i>	800-1000
<i>Hardness (Kg.f .mm⁻²)</i>	980

2.3.2 Struktur Kristal TiO_2

Secara umum TiO_2 memiliki tiga struktur kristal yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite* tampak pada Gambar 2.9 (a) fase *rutile* didapatkan ketika dikalsinasi pada suhu tinggi, fase ini memiliki struktur *tetragonal* dengan densitas sebesar $4,120 \text{ g/cm}^3$, (c) *Anatase* merupakan fase TiO_2 yang terbentuk ketika dikalsinasi pada suhu rendah, fase ini memiliki struktur *tetragonal* dengan densitas $3,894 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan *brookite* (b) merupakan fase yang sulit ditemukan, fase *brookite* memiliki struktur *rhombohendral* dengan densitas sebesar $4,120 \text{ g/cm}^3$ [16].





(c)

Gambar 2.9 Representasi *polyhedral* dari (a) *rutile* (b) *brookite* (c) *anatase* [16]

2.4 Karakteristik Material Komposit

Karakteristik material komposit dapat dilihat melalui beberapa parameter pengujian yaitu pengujian fisik dan pengujian mekanik. Pengujian fisik yang dilakukan adalah uji densitas dan porositas, sedangkan pengujian mekanik yang dilakukan yaitu pengujian tarik, pengujian tekan, pengujian lentur, dan pengujian geser yang bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari material yang diuji.

2.4.1 Densitas dan Porositas

Pengujian densitas merupakan pengujian sifat fisik terhadap spesimen, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kerapatan massa dari spesimen yang diuji. Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material yang didefinisikan sebagai massa persatuan unit volume. Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum *archimedes* dengan cara menimbang sampel uji diudara dan didalam air. Untuk menghitung nilai densitas aktual dan densitas teoritis menggunakan persamaan berikut [17] :

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{\text{Berat diudara (g)}}{\text{Berat Diudara (g)} - \text{Berat dalam air (g)}} \times \rho_{\text{air}} \quad \dots (1)$$

$$\rho_{\text{teoritis}} = (\rho_{ep} \cdot V_{ep}) + (\rho_{TiO_2} \cdot V_{TiO_2}) \quad \dots (2)$$

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume ruang yang terdapat diantara serbuk yang berupa pori-pori (ruang diantara serbuk yang terisi oleh udara). Pengujian porositas dilakukan dengan menggunakan metode *archimedes* untuk menentukan ukuran dari ruang kosong diantara material dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume dalam bentuk persentase 0 – 100%. Densitas dan porositas material dipengaruhi oleh struktur

mikronya. Struktur mikro memberikan informasi tentang orientasi kristalin, distribusi material penyusun, cacat, batas butir, ukuran butir atau pori [18]. Untuk menghitung nilai porositas (\emptyset) menggunakan persamaan berikut [17] :

$$\emptyset = \frac{\rho_{teoritis} - \rho_{aktual}}{\rho_{teoritis}} \times 100 \% \quad \dots (3)$$

2.4.2 Sifat Mekanik Komposit

Sifat mekanik dari material komposit seperti kekerasan, kekuatan, ketangguhan, keuletan, kelentingan dan modulus elastisitas diperoleh dari hasil pengujian mekanik material.

a) Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Tujuan utama dilakukannya pengujian tarik material ini adalah untuk menganalisa respon material pada saat dikenakan beban atau deformasi terhadap pembebanan statis yang diberikan serta untuk memprediksi performa material dibawah kondisi pembebanan. Prinsip pengujian ini yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi beban tarik *unaxial* (Satu arah) yang bertambah secara kontinu hingga spesimen tarik tersebut putus, bersamaan dengan penarikan tersebut dilakukan pengamatan pertambahan panjang yang dialami spesimen uji. Rumus untuk kekuatan tarik menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kekuatan tarik (MPa),} \quad \sigma = \frac{P}{A_0} \quad \dots (4)$$

$$\text{Elongation/ strain (mm/mm),} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \dots (5)$$

$$\text{Modulus elastisitas (GPa),} \quad E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \quad \dots (6)$$

b) Pengujian Tekan (*Compress Test*)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material komposit dengan cara memberikan beban gaya tekan yang searah yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tekan pada spesimen uji. Rumus kekuatan tekan dapat menggunakan persamaan :

$$\text{Kekuatan tekan,} \quad F^{CU} = \frac{Pf}{Wh} \quad \dots (7)$$

$$\text{Modulus elastisitas tekan, } E^C = \frac{P_2 - P_1}{(\epsilon_{x2} - \epsilon_{x1})Wh} \quad \dots (8)$$

c) Pengujian Lentur (*Three Point Bending Test*)

Pengujian kelenturan ditujukan untuk mengetahui ketahanan material komposit terhadap beban lentur. Pengujian lentur ini dilakukan dengan metode *three point bending* yang memiliki tiga titik utama, yaitu dua titik tumpuan pada pinggir spesimen uji dan satu titik pembebanan pada bagian tengah spesimen. Selanjutnya, beban lentur dengan kecepatan konstan diberikan kepada spesimen hingga spesimen mengalami perpatahan.

$$\text{Kekuatan bending, } \sigma_f = \frac{3 PL}{2Ba^2} \quad \dots (9)$$

$$\text{Modulus bending, } E = \frac{11 \cdot FL^3}{32 \cdot bh^3 \delta} \quad \dots (10)$$

d) Pengujian Geser (*Shear Test*)

Pengujian ini dilakukan untuk menguji ketahanan suatu material, dimana material didesak melalui dua arah yang berbeda dengan besar gaya yang sama sampai terjadi deformasi (perubahan bentuk) atau *displacement* (proses pergeseran) dari suatu material. Pada proses pengujian geser sesuai acuan ASTM D5379 benda uji diberi takikan berbentuk *V-notch* (sudut 90°). Sudut 90° (*V-notch*) pada sisi benda uji digunakan menghasilkan pembebanan geser murni tanpa bending dibagian *midspan* dari spesimen antara *V-notch* dan menunjukkan nilai kesalahan atau *error* yang cukup tinggi dikarenakan proses pengujian berjalan secara geser melintang. Besarnya kekuatan geser diseluruh bagian takikan (*V-notch*) spesimen dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Tegangan geser, } \tau = \frac{P}{A_o} \quad \dots (11)$$

$$\text{Modulus geser, } G^{chord} = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma} \quad \dots (12)$$

2.5 Tinjauan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan Amit Chatterjee dan Muhammad S. Islam (2008) telah mempelajari efek nano TiO₂ pengisi terhadap sifat mekanik TiO₂ epoxy nano komposit. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa nano infus *filler* meningkatkan sifat mekanik, termal dan viskoelastik dari

resin *epoxy*. Mereka juga menunjukkan bahwa ada peningkatan pada modulus penyimpanan, modulus tarik, modulus lentur dan modulus geser dari resin epoxy murni [19]. Penelitian Hamming et al. (2009) mengukur efek dispersi dan modifikasi antar muka pada properti skala makro TiO₂ polimer Matrik *nanocomposites*. Hal ini diamati bahwa ada penurunan suhu transisi (T_g) sebagai persen berat nanopartikel dimodifikasi menjadi meningkat. Dalam studi mereka itu menunjukkan bahwa T_g sangat sensitif terhadap kualitas interaksi antar muka dan kualitas dispersi nanopartikel [20].

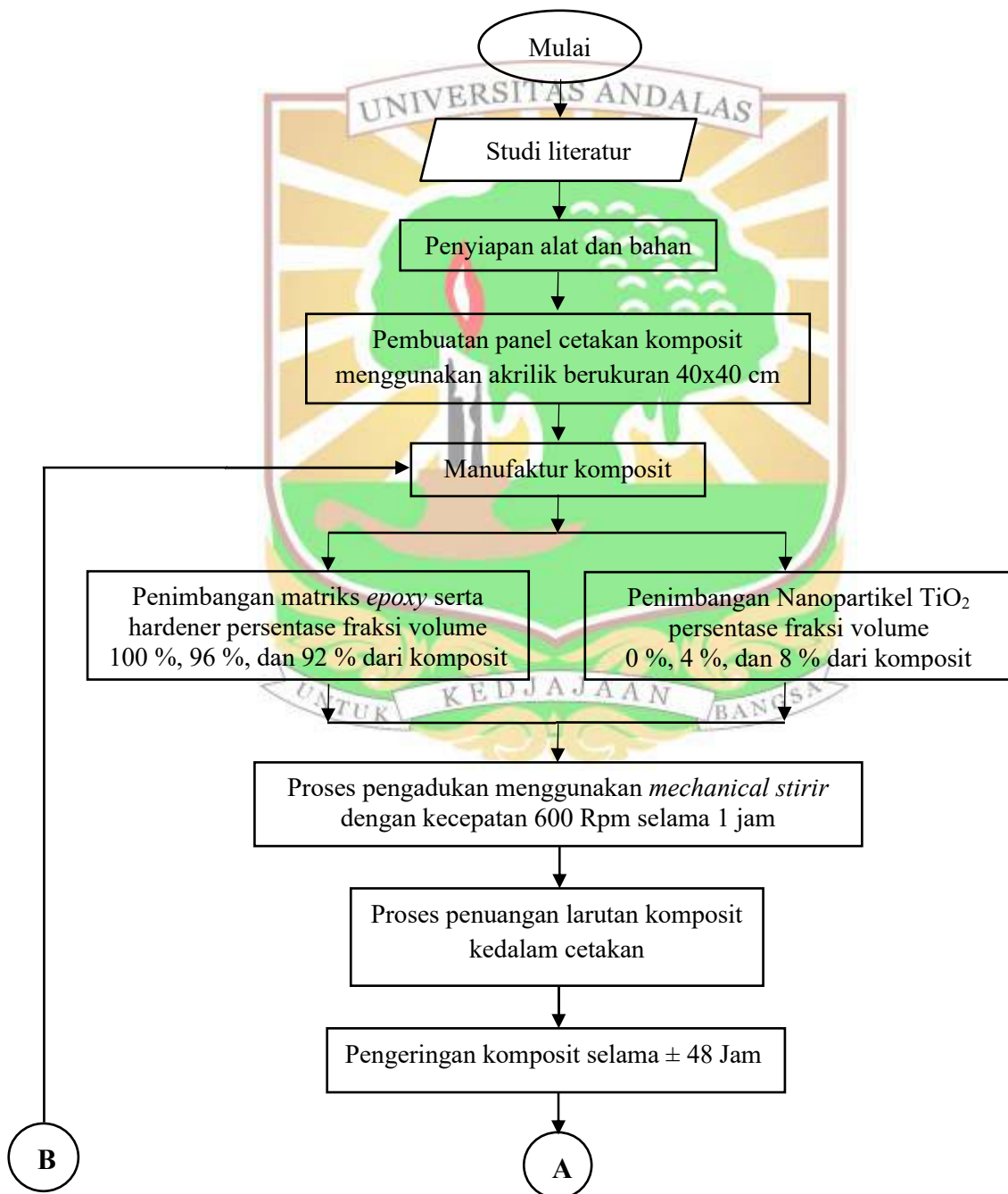
Pada penelitian A. Mirmohseni dan S. Zavareh (2010) mempelajari peningkatan ketangguhan dengan penambahan pengisi nano seperti TiO₂. Mereka mengamati bahwa dampak dan kekuatan tarik meningkat dengan pengisi nano dibandingkan dengan epoxy murni [21]. Penelitian Zhou et al. (2010) mempelajari pengaruh TiO₂ ukuran partikel dan fraksi berat pada kekuatan dan kegagalan modulus lentur dari *epoxy* diperkuat. Mereka mengamati bahwa partikel berukuran mikro memiliki sedikit efek pada kekuatan lentur pada fraksi berat yang rendah dibandingkan dengan partikel nano. Namun, lebih dari 1% dari nano TiO₂ mengurangi sifat mekanik karena konsentrasi stres yang disebabkan oleh aglomerasi partikel nano [22].

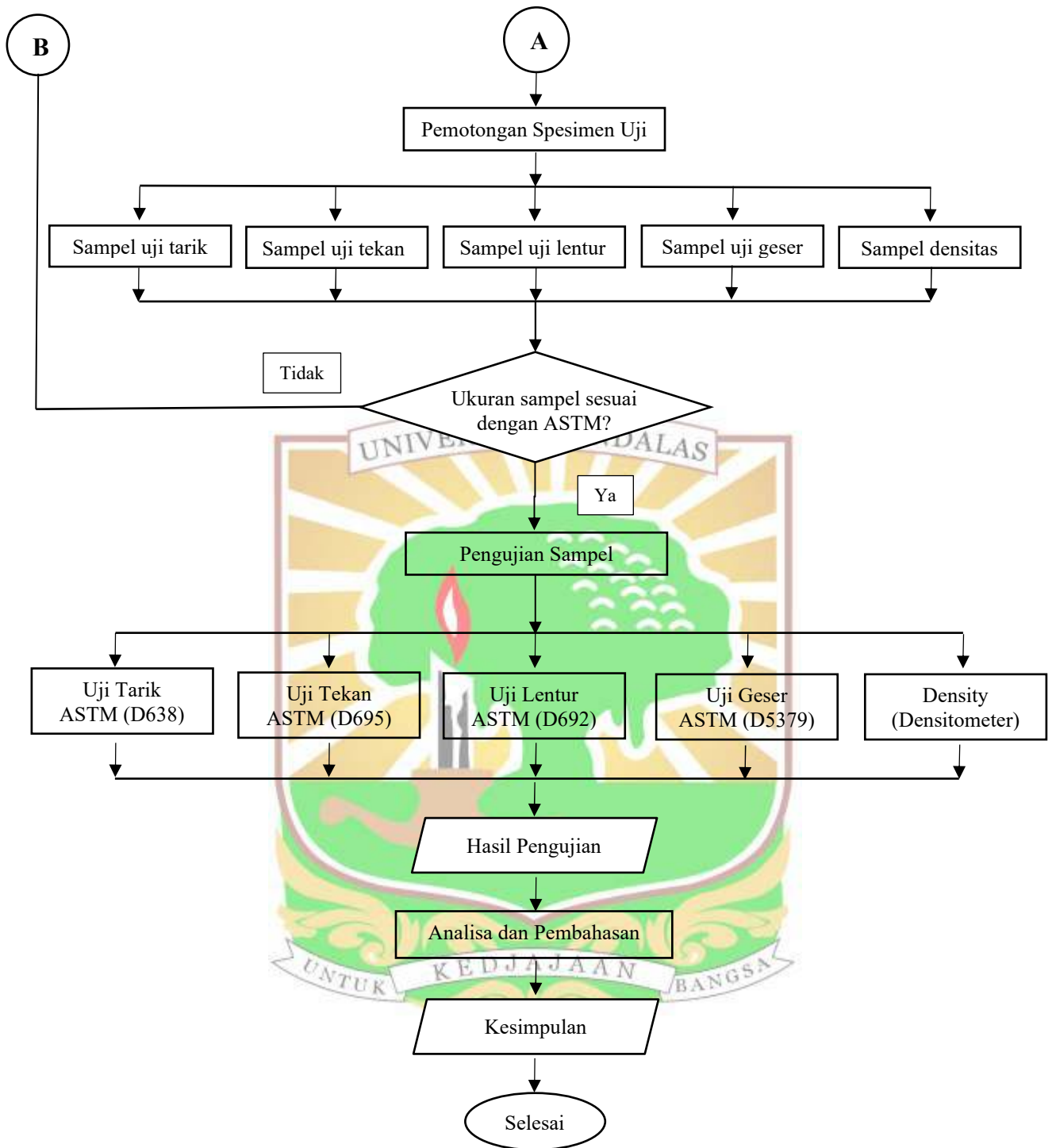
Penelitian Hamad A. Al-Turaif (2010) Sifat mekanik resin epoksi yang dikeraskan dengan dua ukuran partikel nano TiO₂ (17 nm dan 50 nm) pada fraksi berat yang berbeda (1%, 3%, 5% dan 10%) Hasil menunjukkan peningkatan sifat mekanik komposit epoksi karena penambahan fraksi kecil partikel TiO₂. Nilai tegangan tarik tertinggi ditemukan pada 3wt%. Sifat-sifat lentur maksimum ditemukan pada fraksi TiO₂ yang lebih rendah, hanya 1% saja. Partikel yang lebih kecil menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik daripada partikel yang lebih besar. Namun, jumlah tambahan partikel TiO₂ menyebabkan penurunan sifat mekanik [23]. Sedangkan penelitian Siddhartha et al. (2011) mengamati bahwa komposit *epoxy* bergradasi TiO₂ menunjukkan kekuatan tarik, kekuatan lentur, tarik modulus, lentur modulus dan dampak peningkatan kekuatan dengan peningkatan persentase *filler* hingga 20 wt% [24].

BAB III METODOLOGI

3.1 Skema / Diagram Alir Penelitian

Untuk mempermudah dan memperjelas apa saja yang harus dilakukan agar didapatkan hasil penelitian yang diinginkan maka perlu dibuat langkah-langkah penelitian dalam bentuk diagram alir.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah

1) Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk menghitung massa dari bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit.

Spesifikasi timbangan digital yang digunakan adalah :

- Merk : Precissa
- Satuan : Gram-Ons
- Kapasitas Maksimum : 5000 gr

Gambar timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Timbangan Digital

2) Cetakan komposit

Cetakan berfungsi sebagai media tempat mencetak komposit yang dibuat. Cetakan terbuat dari akrilik berbentuk persegi panjang dengan dimensi 40 cm x 40 cm x 2 cm, serta bagian alasnya kaca. Cetakan dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Cetakan komposit akrilik

3) Gelas Ukur

Gelas Ukur berfungsi untuk mengukur volume larutan yang digunakan pada penelitian. Gelas ukur dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Gelas Ukur

4) Digital Caliper

Digital Caliper adalah alat ukur mekanik yang di gunakan untuk mengukur dimensi seperti panjang dan lebar spesimen yang akan di uji. Digital caliper dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Digital Caliper

5) Mikrometer Digital

Mikrometer Digital adalah alat ukur mekanik yang digunakan untuk mengukur ketebalan spesimen yang nantinya akan dilakukan pengujian. Mikrometer digital dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Mikrometer Digital

6) Densitometer

Densitometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat densitas / massa jenis suatu material. Densitometer dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Densitometer

7) *Universal Testing Machine (UTM)*

UTM adalah alat uji untuk mengetahui kekuatan suatu bahan material. UTM dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 *Universal Testing Machine*

8) *Band Saw Oscar*

Band saw digunakan untuk memotong spesimen / sampel dengan dimensi yang telah ditentukan. *Band saw* dapat dilihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Band Saw Oscar

9) Mesin Amplas RK7866

Mesin amplas ini digunakan untuk mengamplas permukaan spesimen yang telah dipotong agar sesuai dengan dimensi. Mesin amplas dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Mesin Amplas RK7866

3.2.2 Bahan

1) Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2)

Serbuk TiO_2 (*nano filler*) yang digunakan dalam penelitian ini, dengan ukuran partikel berkisar 30 ± 50 nm dengan densitas $4,25 \text{ g/cm}^3$. Titanium dioksida dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Serbuk Titanium dioksida

2) Resin dan Hardener *Epoxy*

Resin *epoxy* (matriks) merupakan bahan polimer yang digunakan dalam pembuatan komposit, serta hardener *epoxy* sebagai *curing agent*. Resin dan hardener *epoxy* dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Resin dan hardener *epoxy*

3) *Maximum Mold Release Wax*

Wax ini sepiantas mirip mentega / keju ketika masih di dalam wadahnya. Berfungsi sebagai pelicin padat tahap pencetakan dan agar resin tidak menempel pada cetakan. *Wax* dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Wax*

3.3 Proses Pembuatan Spesimen

3.3.2 Proses Manufaktur

1. Persiapan

Dalam proses ini dilakukan persiapan peralatan dan pembersihan permukaan cetakan / kaca yang telah disediakan. Lalu pada cetakan tersebut dioleskan *wax* sebagai *release agent*. Adapun bentuk cetakan yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 Cetakan

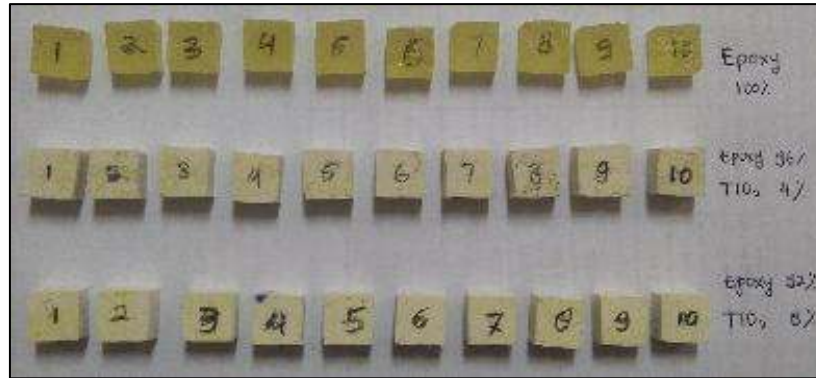
2. Persiapan alat dan bahan
3. Penimbangan massa nano partikel TiO_2 dan massa resin yang dibutuhkan sesuai dengan fraksi volum yang telah ditentukan.
4. Selanjutnya pencampuran nano partikel TiO_2 dengan resin *epoxy* menggunakan pengaduk *mechanical stirrer* dengan kecepatan 600 Rpm selama 60 menit.
5. Setelah itu, dilakukan penuangan komposit yang telah homogen ke dalam cetakan sampai merata.
6. Proses pengeringan, proses ini dilakukan sampai benar-benar kering yaitu 2-3 hari dan apabila masih belum benar-benar kering maka proses pengeringan dapat dilakukan lebih lama.
7. Proses pengambilan komposit dari cetakan yaitu menggunakan pisau atau *cutter*.
8. Finishing, menghaluskan permukaan komposit.

3.4 Penyiapan Spesimen Uji

Setelah material atau spesimen terbentuk maka dilakukan persiapan untuk pemotongan sampel spesimen pengujian dengan tipe pengujian density, pengujian tarik sesuai ASTM D638, pengujian tekan sesuai ASTM D695, pengujian geser sesuai dengan standar ASTM D5379, Pengujian *flexural test* sesuai dengan ASTM D790, Standar ini dimaksudkan mengikuti taraf pengujian internasional untuk mendapatkan sifat mekanik dengan baik dan akurat.

3.4.1 Spesimen Uji Densitas

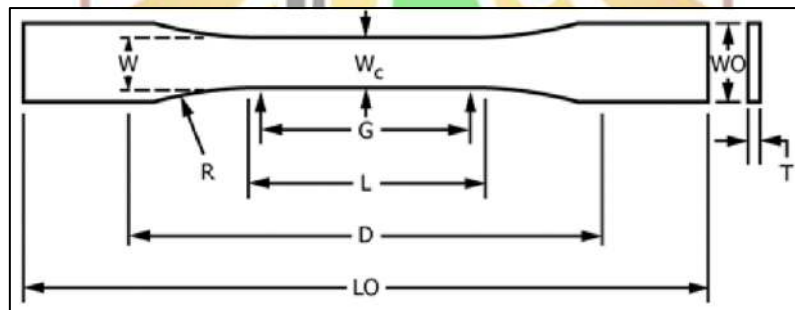
Pengujian densitas dengan memotong spesimen sebanyak 10 buah pada masing-masing variasi fraksi volum dengan dimensi 10 mm x 10 mm. Spesimen akan diuji menggunakan alat densitometer seperti pada Gambar 3.8. Masing-masing spesimen dapat dilihat pada Gambar 3.15



Gambar 3.15 Sampel uji densitas

3.4.2 Spesimen Uji Tarik

Standar uji yang digunakan yaitu bentuk spesimen tarik berdasarkan standar ASTM D638. Dimensi spesimen dapat dilihat pada Gambar 3.16 [25].



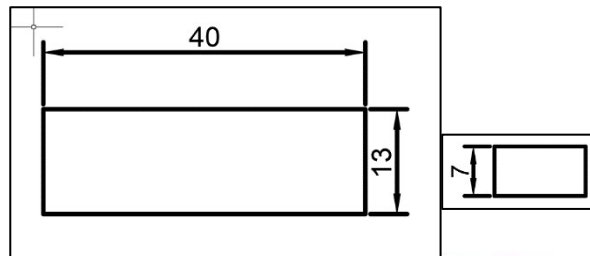
Gambar 3.16 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638 [25]

Keterangan :

LO	: <i>Length Overall</i>	165 mm
D	: <i>Distance between grips</i>	$115 \pm 0,5$ mm
L	: <i>Length of narrow section</i>	$57 \pm 0,5$ mm
G	: <i>Gage length</i>	$50 \pm 0,5$ mm
Wo	: <i>Width overall</i>	$19 \pm 0,5$ mm
W	: <i>Width of narrow section</i>	$13 \pm 0,5$ mm
R	: <i>Radius of fillet</i>	$76 \pm 0,5$ mm
T	: <i>Thickness</i>	$7 \pm 0,5$ mm

3.4.3 Spesimen Uji Tekan

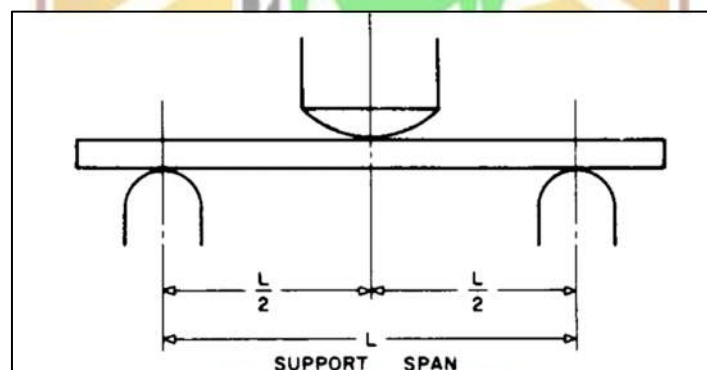
Standar Pengujian ASTM D695 telah mengacu kepada standar pengujian tekan, spesimen uji disiapkan dengan penampang persegi dengan panjang 40 mm dan lebar 13 mm. Dapat dilihat pada Gambar 3.17



Gambar 3.17 Dimensi spesimen uji tekan ASTM D-695

3.4.4 Spesimen Uji Lentur

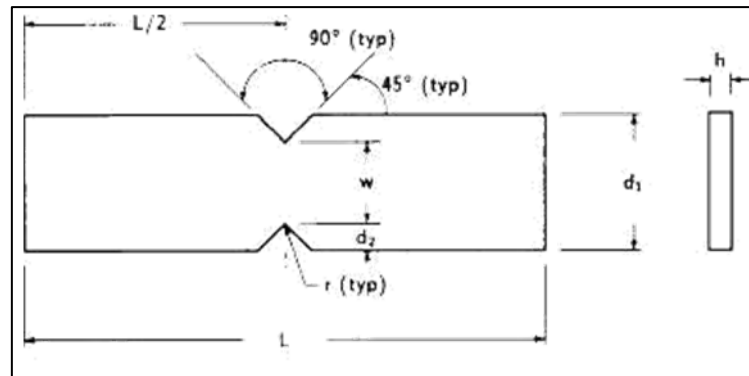
Standar Pengujian ASTM D790 telah mengacu kepada standar pengujian lentur material. Seperti yang disarankan dalam standar, spesimen uji disiapkan dengan penampang persegi dengan panjang 112 mm, lebar 27 mm serta tebal 7 mm. Dapat dilihat pada Gambar 3.18 [26].



Gambar 3.18 Dimensi spesimen uji lentur ASTM D-790 [26]

3.4.5 Spesimen Uji Geser

Standar Pengujian ASTM D5379 telah mengacu kepada standar pengujian geser material. Seperti yang disarankan dalam standar, spesimen uji disiapkan dengan penampang persegi dengan panjang 76 mm, lebar 20 mm dan tebal 7 mm dengan sudut takikan V-notch 90°. Spesimen uji geser dapat dilihat pada Gambar 3.19 [27].



Gambar 3.19 Dimensi uji geser ASTM D-5379 [27]

3.5 Pengujian Komposit

3.5.1 Pengukuran Densitas

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran densitas spesimen komposit dengan media air menggunakan alat densitometer. Untuk lebih rinci, prosedur pengujian dari pengukuran densitas sebagai berikut :

1. Di isi air sebagai media pada gelas ukur pada alat densitometer sebanyak 500 gr.
2. Diletakan sampel spesimen pada cawang atas dari alat densitometer.
3. Ditimbang berat massa sampel di udara, lalu tekan tombol set jika hasil yang tercantum di *display* sudah akurat dan dicatat berat massa di udara.
4. Dipindahkan sampel spesimen pada cawang atas alat ke cawang bawah alat untuk mendapatkan berat di air
5. Sampel spesimen ditimbang berat massa komposit di air lalu tekan tombol set jika hasil yang tercantum di *display* sudah akurat dan dicatat berat massa di udara.
6. Kemudian tekan tombol OK pada *display* untuk mendapatkan nilai rho dari komposit
7. Dilakukan proses densitas sesuai urutan 1-10 sebanyak 10 sampel spesimen.

3.5.2 Pengujian Tarik (*Tensile Strength Test*)

Penelitian ini menggunakan standar pengujian material ASTM D-638 tentang *Standart test method for tensile properties of polymer materials*.

a. Peralatan uji tarik

- Mesin Uji UTM Tensilon (*Universal Testing Machine*)
- Jangka sorong digital mitutoyo

b. Sampel uji tarik

Spesimen uji tarik sesuai dengan ASTM D-638 sebanyak 7 spesimen untuk ukuran dimensi dapat dilihat Gambar 3.17.

c. Kondisi pengujian

Uji tarik dilakukan pada kondisi standar laboratorium yaitu pada suhu $22 \pm 2^\circ\text{C}$ dengan kelembaban relatif $47 \pm 10\%$.

d. Prosedur pengujian

1. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong digital mitutoyo untuk mendapatkan ukuran panjang, lebar dan ketebalan sampel uji di beberapa titik sampel.
2. Lakukan pengaturan mesin uji di *personal computer*, untuk *test speed* diset 5,0 mm/min, *initial sample length distance* diset 115 mm, serta diinputkan ukuran dimensi spesimen.
3. Sampel dijepit oleh jig mesin uji tarik lalu periksa kelurusan sumbunya.
4. Periksa dudukan sampel untuk mencegah terjadinya slip sewaktu pengujian dilakukan.
5. Tekan tombol on pada mesin uji untuk proses penarikan sampel sampai terjadi kegagalan atau putus.
6. Ulangi langkah di atas untuk sampel yang lain.

Pengujian uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.20



Gambar 3.20 Uji Tarik

3.5.3 Pengujian Tekan (*Compressive Test*)

Penelitian ini menggunakan standar pengujian material ASTM D695 tentang Standar *Test Method for Compressive Properties of Rigid polymer*.

a. Peralatan uji tekan

- Mesin uji tekan
- Jangka sorong digital mitutoyo

b. Sampel uji tekan

Sampel uji tekan dengan dimensi 50 mm x 12 mm x 7 mm dapat dilihat pada Gambar 3.18.

c. Kondisi pengujian

Uji tarik dilakukan pada kondisi standar laboratorium yaitu pada suhu $23 \pm 3^\circ\text{C}$ dengan kelembaban relatif $50 \pm 10\%$.

d. Prosedur pengujian

1. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong digital mitutoyo untuk mendapatkan ukuran lebar dan ketebalan sampel uji di beberapa titik sampel.
2. Lakukan pengaturan mesin uji di *personal computer*, untuk *test speed* diset 2,0 mm/min, *initial sample length distance* diset 12,7 mm, serta diinputkan ukuran dimensi spesimen.
3. Sampel dijepit oleh mesin uji pada dudukan lalu periksa kelurusan sumbunya.

4. Tekan tombol on pada mesin uji untuk proses penekanan sampel sampai terjadi kegagalan atau putus.
5. Ulangi langkah di atas untuk sampel yang lain.

Pengujian uji tekan dapat dilihat pada Gambar 3.21



Gambar 3.21 Uji Tekan

3.5.4 Pengujian Lentur (*Three point bending Test*)

Pengujian kelenturan ditujukan untuk mengetahui ketahanan material komposit terhadap beban lentur. Pengujian lentur ini dilakukan dengan metode *three point bending* yang memiliki tiga titik utama, yaitu dua titik tumpuan pada pinggir spesimen uji dan satu titik pembebanan pada bagian tengah spesimen. Selanjutnya, beban lentur dengan kecepatan konstan diberikan kepada spesimen hingga spesimen mengalami perpatahan.

Penelitian ini menggunakan standar pengujian material ASTM D-790 tentang *Standart test method for bending properties of polymer materials*.

a. Peralatan uji lentur

- Mesin Uji UTM Tensilon (*Universal Testing Machine*)
- Jangka sorong digital mitutoyo

b. Sampel uji lentur

Spesimen uji lentur sesuai dengan ASTM D-790 sebanyak 7 spesimen untuk ukuran dimensi dapat dilihat Gambar 3.19.

c. Kondisi pengujian

Uji tarik dilakukan pada kondisi standar laboratorium yaitu pada suhu $22 \pm 2^\circ\text{C}$ dengan kelembaban relatif $47 \pm 10\%$.

d. Prosedur pengujian

1. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong digital mitutoyo untuk mendapatkan ukuran panjang, lebar dan ketebalan sampel uji di beberapa titik sampel.
2. Lakukan pengaturan mesin uji di *personal computer*, untuk *test speed* diset $5,0\text{ mm/min}$, *initial sample length edge span* diset 121 mm , serta diinputkan ukuran dimensi spesimen.
3. Sampel dijepit oleh jig mesin uji tarik lalu periksa kelurusan sumbunya.
4. Periksa dudukan sampel untuk mencegah terjadinya slip sewaktu pengujian dilakukan.
5. Tekan tombol on pada mesin uji untuk proses penarikan sampel sampai terjadi kegagalan atau putus.
6. Ulangi langkah di atas untuk sampel yang lain.

Pengujian uji lentur dapat dilihat pada Gambar 3.22



Gambar 3.22 Uji Lentur

3.5.4 Pengujian Geser (*Shear Strength Test*)

Pengujian geser menggunakan standar pengujian material sesuai ASTM D5379. Sifat uji geser yang diharapkan pada pengujian ini yaitu dapat mengetahui

kekuatan geser bahan komposit terhadap ketahanan geser maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen [27]. Pada spesimen dibuat takikan V *Notch*.

Untuk prosedur pengujian dapat dilihat sebagai berikut:

1. Dilakukan pengukuran untuk dimensi lebar dan ketebalan sampel di beberapa titik sampel dengan jangka sorong digital mitutoyo.
2. Dilakukan pengaturan mesin uji.
3. Dijepit sampel oleh mesin uji pada *grip*.
4. Dicek kembali posisi *grip* apakah sudah sesuai dengan sampel untuk menghindari terjadinya *slip* pada saat pengujian berlangsung.
5. Dilakukan *setting* pada kertas milimeter yang membaca hasil pengujian.
6. Ditekan tombol ON pada mesin uji untuk proses pengujian sampai terjadinya kegagalan sampel spesimen.
7. Ulangi langkah di atas untuk sampel yang lain.

Pengujian uji geser dapat dilihat pada Gambar 3.23



Gambar 3.23 Uji Geser

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tugas akhir ini telah dilakukan di Pusat Teknologi Penerbangan (Pustekbang), LAPAN. Diperoleh hasil pengujian sifat fisik yakni densitas serta porositas dan sifat mekanik berupa hasil pengujian tarik, uji tekan, uji lentur dan uji geser.

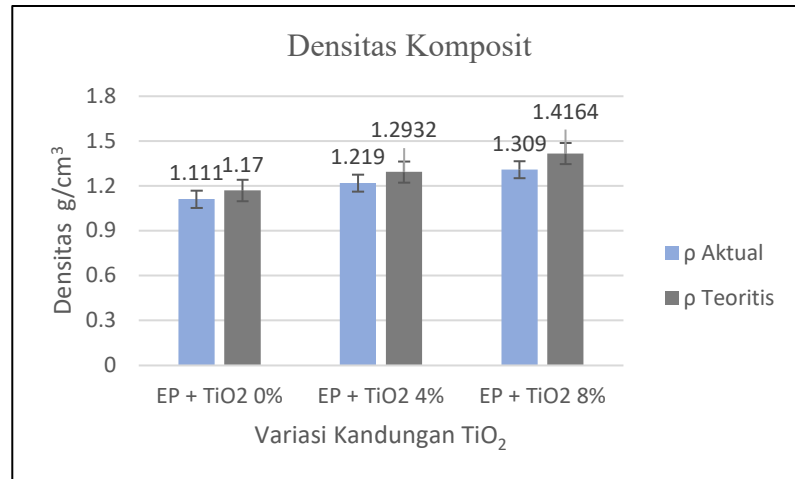
4.1 Pengujian densitas dan porositas

Uji densitas merupakan pengujian sifat fisik pada spesimen dengan tujuan mendapatkan nilai massa jenis dari setiap sampel yang diuji menggunakan densitometer. Pengujian dilaksanakan dilaboratorium aerostruktur LAPAN, pengkondisian lokasi pengujian dengan temperatur 24,5°C dan kelembaban 38,8%. Tahapan untuk pengujian densitas ini yaitu dimulai dengan mengukur massa masing-masing sampel komposit dengan cara ditimbang diudara, kemudian dilakukan pengukuran massa sampel komposit ketika tercelup dalam air. Setelah didapat nilai massa sampel di udara dan tercelup dalam air, secara otomatis pada layar densitometer keluar nilai massa jenis komposit.

Berikut hasil rata-rata pengujian densitas masing-masing fraksi volume ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil rata-rata pengujian density dan porositas

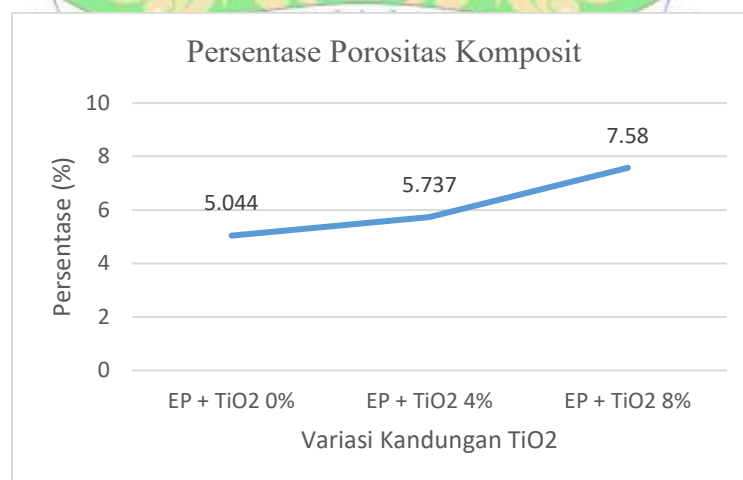
Persentase	M di udara (g)	M di air (g)	ρ Aktual (g/cm ³)	ρ Teoritis (g/cm ³)	Porositas (%)
EP + TiO ₂ 0%	0,839 ± 0,033	0,093 ± 0,0065	1,111 ± 0,0053	1,17	5,044
EP + TiO ₂ 4%	1,085 ± 0,0576	0,206 ± 0,0122	1,219 ± 0,0063	1,2932	5,737
EP + TiO ₂ 8%	1,207 ± 0,0636	0,296 ± 0,0252	1,309 ± 0,0041	1,4164	7,58



Gambar 4.1 Densitas Komposit

Dari Gambar dan Tabel 4.1 data hasil pengujian densitas aktual komposit *epoxy* dengan variasi kandungan TiO₂ menunjukkan bahwa untuk spesimen massa jenis *epoxy* murni diperoleh rata-rata sebesar 1,11 g/cm³, sedangkan untuk spesimen *epoxy* dengan kandungan TiO₂ 4% diperoleh massa jenis rata-rata sebesar 1,219 g/cm³ dan spesimen *epoxy* dengan kandungan TiO₂ 8% massa jenisnya rata-rata sebesar 1,309 g/cm³.

Dapat dilihat bahwa adanya perbedaan nilai densitas diantara ketiga variasi kandungan TiO₂, dimana fraksi volume mempengaruhi nilai massa jenis komposit. Semakin besar variasi fraksi volume TiO₂ maka densitas komposit semakin meningkat, begitu juga sebaliknya. Densitas yang semakin tinggi menunjukkan material komposit tersebut memiliki kerapatan antar partikel yang tinggi.



Gambar 4.2 Persentase porositas didalam komposit

Pengujian porositas dilakukan setelah uji densitas, dimana pengujian ini dilakukan untuk menentukan ukuran dari ruang kosong diantara material komposit dalam bentuk persentase 0 – 100%. Pada grafik memperlihatkan bahwa semakin tinggi kandungan TiO₂ didalam komposit maka porositas atau ruang kosong didalam material komposit juga semakin meningkat, dari grafik diatas memperlihatkan bahwa nilai porositas tertinggi pada kandungan epoxy-TiO₂ 8% yakni sebesar 7,58%.

Secara visual, hasil dari manufaktur spesimen komposit memperlihatkan adanya gelembung udara (*void*) yang dapat meningkatkan porositas didalam komposit. Timbulnya *void* disebabkan adanya udara terperangkap pada proses pengadukan dan penuangan komposit ke dalam cetakan. Adanya porositas didalam komposit dapat menurunkan kekuatan dari sifat mekanik komposit. Hal ini dapat memicu retakan dalam struktur komposit.

4.2 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kekuatan serta ketahanan suatu material komposit dengan cara memberikan beban tarik *uniaxial* (satu arah) yang bertambah secara kontinu hingga spesimen tarik tersebut putus. Data pengujian mencakup nilai *maximum point load*, *maximum point stress*, *elastic modulus* serta grafik *stress-strain*.

4.2.1 Uji Spesimen Tarik Epoxy 100% : 0 % TiO₂

Hasil pengujian tarik dengan material epoxy tanpa ditambahkan TiO₂ diperoleh data pengujian tarik yang ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian uji tarik EP 100% : 0 % TiO₂ 5 Spesimen.

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Ultimate Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Break Point Strain %GL
1	13,60	6,57	89,352	1926,5	21,561	1,9784	1,3157
2	13,82	7,05	97,431	2672,4	27,428	2,0916	1,5577
3	13,77	6,81	93,774	2445,5	26,079	2,121	1,5677
5	13,83	6,5	89,895	2409,8	26,807	2,1288	1,5994
6	13,62	6,88	93,706	2481,5	26,482	2,2026	1,5176

Rata-rata	13,728	6,762	92,832	2387,14	25,671	2,104	1,5116
Stdev	0,0987	0,202	2,951	247,542	2,102	0,0728	0,1013

Pada tabel 4.2 merupakan hasil pengujian tarik 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $2387,14 \pm 247,542$ N, rata-rata *ultimate strength* $25,671 \pm 2,102$ MPa, rata-rata modulus sebesar $2,104 \pm 0,0728$ GPa. Untuk nilai *maximum load* dan *ultimate strength* tertinggi dimiliki oleh spesimen ke-2 dengan nilai 2672,4 N dan 27,428 MPa dengan modulus sebesar 2,0916 GPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *ultimate strength* terendah pada spesimen ke-1 sebesar 1926,5 N dan 21,561 MPa dengan modulus sebesar 1,9784 GPa.

4.2.2 Uji Spesimen Tarik Epoxy 96% : 4% TiO₂

Hasil pengujian tarik dengan material epoxy 96 % yang ditambahkan TiO₂ 4% diperoleh data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian uji tarik EP 96 % : 4% TiO₂

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Ultimate Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Break Point Strain %GL
1	13,61	7,87	107,11	2824,9	26,374	2,3215	1,4212
2	14,21	7,79	110,7	2818,9	25,466	2,4863	0,0764
4	14,28	7,85	112,1	3059,3	27,291	2,4017	1,4465
5	14,45	7,69	111,12	3161,8	28,454	2,5291	1,7323
6	14,86	7,99	118,73	3748,7	31,573	2,2027	0,0877
Rata-rata	14,282	7,838	111,952	3122,72	27,8316	2,38826	0,952
Stdev	0,4047	0,098	3,7859	340,1187	2,1165	0,117	0,7193

Pada tabel 4.3 merupakan hasil pengujian tarik 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $3122,72 \pm 340,1187$ N, rata-rata *ultimate strength* $27,8316 \pm 2,1165$ MPa, dan rata-rata modulus elastisitas $2,38826 \pm 0,117$ GPa. Untuk nilai *maximum load* dan *ultimate strength* tertinggi dimiliki oleh spesimen ke-6 dengan nilai 3748,7 N dan 31,573 MPa dengan modulus sebesar 2,2027 GPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *ultimate strength* terendah pada spesimen ke-2 sebesar 2818,9 N dan 25,466 MPa dengan modulus sebesar 2,486 GPa.

4.2.3 Uji Spesimen Tarik Epoxy 92% : 8 % TiO₂

Hasil pengujian tarik dengan material epoxy 92% yang ditambahkan TiO₂ 8% diperoleh data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian uji tarik EP 92 % : 8% TiO₂

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Ultimate Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Break Point Strain %GL
1	13,49	7,59	102,39	2092,5	20,437	2,3124	0,071
2	13,98	7,63	106,67	2322,1	21,769	2,2856	1,3075
3	13,9	7,48	103,97	2200,4	21,163	2,2095	1,1942
5	13,78	7,53	103,76	2186,6	21,073	2,3241	1,1914
6	13,94	7,6	105,94	1920,7	18,129	2,1533	1,0896
Rata-rata	13,818	7,566	104,546	2144,46	20,5142	2,3124	0,9707
Stdev	0,1771	0,0538	1,5526	133,588	1,2651	0,0654	0,4551

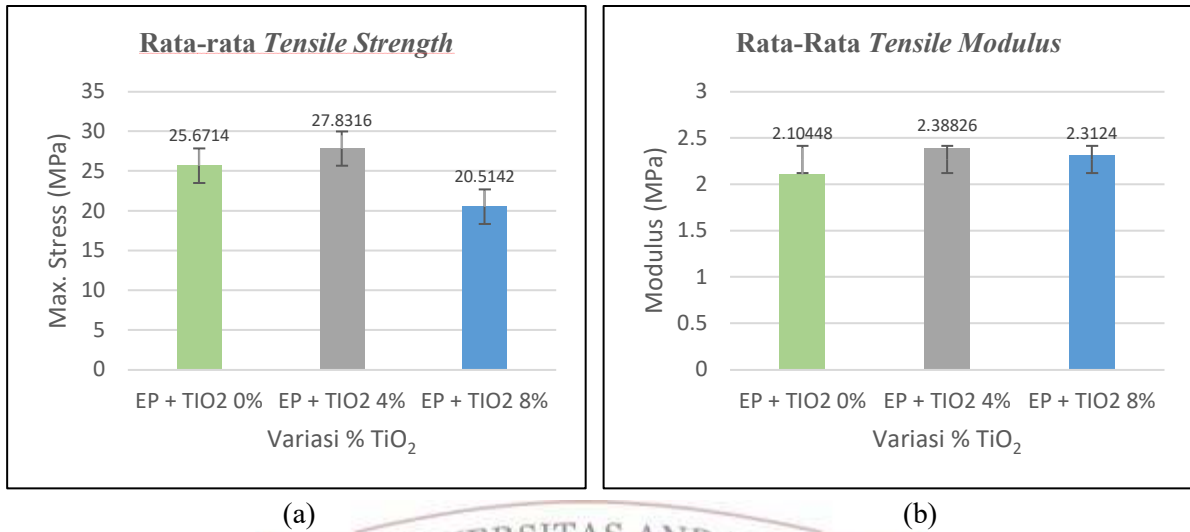
Pada tabel 4.4 merupakan hasil pengujian tarik 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $2144,46 \pm 133,588$ N, *ultimate strength* $20,5142 \pm 1,2651$ MPa, modulus elastisitas $2,3124 \pm 0,0654$ GPa. Untuk nilai *maximum load* dan *ultimate strength* tertinggi dimiliki oleh spesimen yang ke-2 dengan nilai 2322,1 N dan 21,769 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 2,2856 GPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *ultimate strength* terendah pada spesimen ke-6 sebesar 1920,7 N dan 18,129 MPa dan modulus elastisitas 2,153 GPa.

4.2.4 Perbandingan Hasil Uji Tarik Variasi %Volume Komposit

Hasil pengujian tarik rata-rata material epoxy-TiO₂ diperoleh data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian rata-rata uji tarik

Persentase TiO ₂	Maximum Load (N)	Ultimate Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)
EP + TiO ₂ 0%	2387,14 ± 247,542	25,6714 ± 2,102	2,10448 ± 0,073
EP + TiO ₂ 4%	3122,72 ± 340,112	27,8316 ± 2,116	2,38826 ± 0,117
EP + TiO ₂ 8%	2144,46 ± 133,588	20,5142 ± 1,265	2,3124 ± 0,065



(a) (b)
Gambar 4.3 Perbandingan rata-rata (a) *tensile strength* dan (b) *tensile modulus*

Gambar grafik (a) diatas menunjukkan penambahan kandungan TiO₂ 4% didalam resin *epoxy*, mengalami peningkatan dari nilai *tensile strength epoxy* murni kenaikannya sebesar 8,41%, sedangkan untuk penambahan TiO₂ 8% nilai *tensile strength* mengalami penurunan sebesar 20,1%. Menurut hasil penelitian Annlin Bezy et. al (2015) yang menyebutkan bahwa nanokomposit *epoxy-TiO₂* dengan kandungan persentase 1wt% TiO₂ mengalami kenaikan *tensile strength* sedangkan seiring penambahan kandungan wt% menyebabkan menurunnya kekuatan *tensile strength* dari komposit. Ini menunjukkan semakin besar kandungan TiO₂ didalam komposit *epoxy-TiO₂* mengakibatkan terjadinya penurunan kekuatan *tensile strength* [28]. Pada Gambar grafik (b) memperlihatkan bahwa terjadinya peningkatan *tensile modulus epoxy* murni dengan penambahan kandungan TiO₂. Untuk TiO₂ 4% kenaikan *tensile modulus* sebesar 13,48% sedangkan untuk TiO₂ 8% kenaikan *tensile modulus* sebesar 9,86%. Jika dibandingkan kedua variasi kandungan TiO₂ tersebut, nilai uji tarik TiO₂ 4% nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan TiO₂ 8%.

Perbedaan nilai uji tarik dapat disebabkan karena komposisi kandungan TiO₂ didalam resin *epoxy*, selain itu proses pencampuran TiO₂ yang kurang merata, serta pengadukannya belum terhomogenisasi sempurna yang mengakibatkan beberapa bagian yang ada di spesimen terbentuk gumpalan dan *void*. Hal ini dapat mempengaruhi hasil pengujian tarik.

4.3 Pengujian Tekan (*Compress Test*)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material komposit dengan cara memberikan beban gaya yang searah yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tekan. Data pengujian mencakup nilai *maximum point load*, *maximum point stress*, *elastic modulus* serta grafik *stress-strain*.

4.3.1 Uji Spesimen Tekan *Epoxy 100% : 0 % TiO₂*

Hasil pengujian tekan dengan material *epoxy 100%* tanpa ditambahkan *TiO₂* diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil pengujian tekan EP 100 % : 0% TiO₂

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Point Stress (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Break point Strain % GL
1	13,8	7,29	100,6	6392	63,538	926,92	3,6905
2	13,9	7,38	102,58	6162,4	60,073	512,91	3,8041
3	13,63	7,09	96,637	6046,8	62,573	606,6	4,2049
4	13,75	7,35	101,06	6063,5	59,997	1062,9	3,6447
6	13,71	7,14	97,889	5980	61,089	487,93	3,7531
Rata-rata	13,758	7,25	99,7532	6128,94	61,454	719,452	3,8194
Stdev	0,0902	0,1050	2,1726	143,8976	1,3970	232,3777	0,2001

Pada tabel 4.6 merupakan hasil pengujian tekan 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $6128,94 \pm 143,897$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $61,454 \pm 1,3970$ MPa, dan nilai rata-rata *elastic modulus* $719,452 \pm 232,377$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi dimiliki spesimen yang ke-1 dengan nilai 6392 N dan 63,538 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 926,92 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang terendah pada spesimen ke-6 sebesar 5980 N dan 61,089 MPa dan modulus 487,93 MPa.

4.3.2 Uji Spesimen Tekan *Epoxy 96% : 4 % TiO₂*

Hasil pengujian tekan dengan material *epoxy 96%* ditambahkan *TiO₂ 4%* diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian uji tekan EP 96 % : 4% TiO₂

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Point Stress (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Break point Strain % GL
3	13,93	7,01	97,51	5600,2	57,432	916,53	3,6623
4	13,68	6,9	94,392	5358	56,764	1190,96	3,5042
5	13,63	6,77	92,275	5261,6	57,021	647,64	3,2304
6	13,67	6,98	95,417	5444,8	57,064	1691,4	3,556
7	13,75	6,84	94,05	5603,5	59,58	1316,4	3,1879
Rata-rata	13,732	6,9	94,72	5453,62	57,5722	1152,586	3,4282
Stdev	0,1062	0,08831	1,7206	134,1956	1,0262	354,773	0,1864

Pada tabel 4.7 merupakan hasil pengujian tekan 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $5453,62 \pm 134,195$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $57,572 \pm 1,026$ MPa, dan nilai rata-rata *elastic modulus* $1152,586 \pm 354,773$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi dimiliki spesimen ke-7 dengan nilai 5603,5 N dan 59,58 MPa dengan nilai modulus sebesar 1316,4 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah dimiliki spesimen ke-5 sebesar 5261,6 N dan 57,021 MPa dengan nilai modulus sebesar 647,64 MPa.

4.3.3 Uji Spesimen tekan Epoxy 92% : 8 % TiO₂

Hasil pengujian tekan dengan material epoxy 92 % ditambahkan TiO₂ 8% diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pengujian uji tekan EP 92 % : 8% TiO₂

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Point Stress (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Break point Strain % GL
2	13,79	6,95	95,84	4939,7	51,541	649,8	5,5352
4	13,81	7,16	98,88	5055,4	51,126	1012,8	3,5814
5	13,61	7,11	96,767	4928,8	50,934	1463,1	3,3772
6	13,93	7,13	99,321	5271,1	53,072	968,78	3,6929
7	13,62	7,05	96,021	5093,1	53,042	357,54	3,4132
Rata-rata	13,752	7,08	97,3658	5057,62	51,943	890,404	3,9199
Stdev	0,1217	0,0743	1,4567	124,3681	0,9305	339,347	0,8156

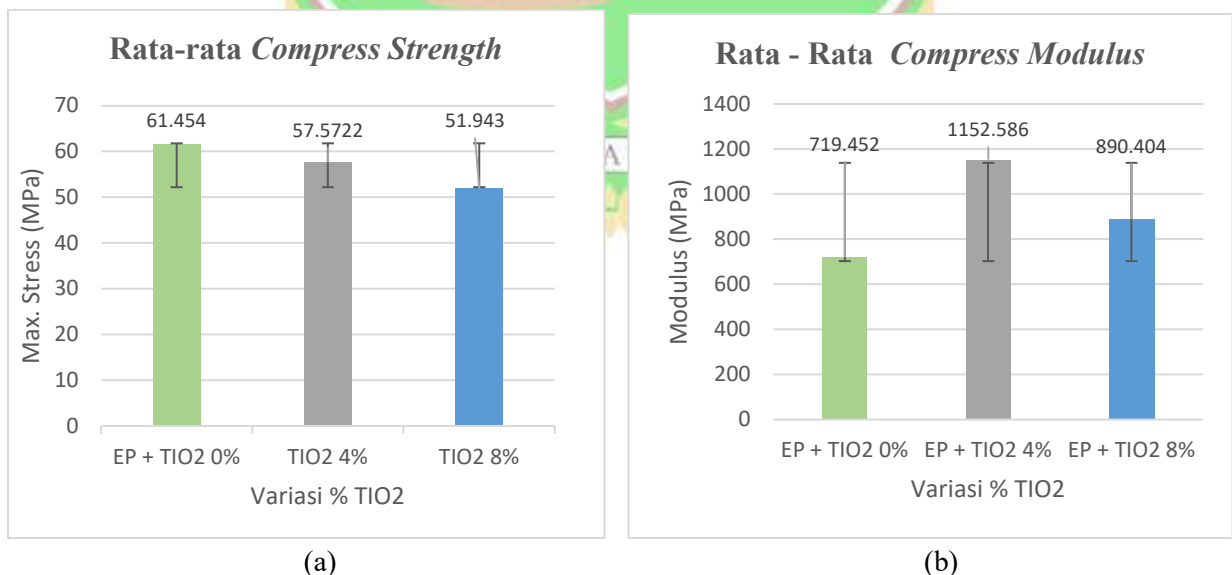
Pada tabel 4.8 merupakan hasil pengujian tekan 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $5057,62 \pm 124,368$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $51,943 \pm 0,9305$ MPa, dan nilai rata-rata *elastic modulus* $890,404 \pm 339,347$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-6 dengan nilai 5271,1 N dan 53,072 MPa dengan nilai modulus sebesar 968,78 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah dimiliki spesimen ke-5 sebesar 4928,8 N dan 50,934 MPa dengan nilai modulus sebesar 1463,1 MPa.

4.3.4 Perbandingan Hasil Uji Tekan Variasi %Volume Komposit

Hasil pengujian tekan rata-rata material *epoxy* dengan penambahan TiO_2 diperoleh data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian rata-rata uji tekan

Persentase TiO_2	Maximum Load (N)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)
EP + TiO_2 0%	$6128,94 \pm 143,897$	$61,454 \pm 1,39$	$719,452 \pm 232,37$
EP + TiO_2 4%	$5453,62 \pm 134,195$	$57,572 \pm 1,026$	$1152,586 \pm 354,773$
EP + TiO_2 8%	$5057,62 \pm 124,368$	$51,943 \pm 0,93$	$890,404 \pm 339,347$



Gambar 4.4 Perbandingan rata-rata (a) *compress strength* dan (b) *compress modulus*

Gambar grafik (a) diatas memperlihatkan bahwa nilai *compress strength* komposit mengalami penurunan seiring dengan penambahan kandungan TiO_2

didalam resin *epoxy*. Untuk kandungan TiO_2 4%, mengalami penurunan *compress strength* sebesar 6,32%, sedangkan untuk TiO_2 8% mengalami penurunan sebesar 15,48 %. Pada gambar grafik (b) menunjukkan bahwa nilai *compress modulus* mengalami peningkatan dengan penambahan kandungan TiO_2 , besarnya kenaikan *compress modulus* TiO_2 4% adalah 60,2 %, sedangkan untuk kandungan TiO_2 8% kenaikannya sebesar 23,76 %. Jika dibandingkan kedua variasi kandungan TiO_2 tersebut, nilai uji tekan TiO_2 4% nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan TiO_2 8%.

Perbedaan nilai uji tekan dapat disebabkan karena komposisi kandungan TiO_2 didalam resin *epoxy*, selain itu adanya *void* dan porositas yang ada pada spesimen khususnya pada bagian penampang, sehingga pada saat komposit menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah *void* ataupun ruang kosong pada komposit sehingga dapat mengakibatkan penurunan kekuatan tekan komposit. Hal ini dapat mempengaruhi hasil pengujian.

4.4 Pengujian kekuatan lentur (*Flexural Test*)

Pengujian *flexural* ini mengacu pada ASTM D790, yang mana menggunakan prinsip *three point bending test*. Spesimen berada pada titik tumpu di kedua ujungnya, lalu pada bagian tengahnya diberi gaya tekan hingga spesimen patah. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kekakuan dari material uji, Data pengujian mencakup nilai *maximum point load*, *maximum point stress*, *elastic modulus* serta grafik *stress-strain*.

4.4.1 Uji Spesimen Lentur *Epoxy* 100% : 0 % TiO_2

Hasil pengujian lentur dengan material *epoxy* 100% tanpa ditambahkan TiO_2 diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil pengujian uji lentur EP 100 % : 0% TiO_2

Test No.	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Elastisitas Modulus (MPa)
1	27,69	7,17	361,35	46,073	2058,6
2	27,73	7,47	326,93	38,348	1522,6
4	27,92	7,16	298,28	37,824	1410,0
6	28,45	7,24	397,69	48,401	1798,5

7	27,75	7,00	334,09	44,594	1795,5
Rata-rata	27,908	7,208	343,668	43,048	1717,04
stdev	0,282	0,1527	33,6541	4,2326	228,7074

Pada tabel 4.10 merupakan hasil pengujian lentur 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $343,668 \pm 33,6541$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $43,048 \pm 4,232$ MPa, dan rata-rata *elastic modulus* sebesar $1717,04 \pm 228,707$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-6 dengan nilai 397,69 N dan 48,401 MPa dengan modulus sebesar 1798,5 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah pada spesimen ke-4 sebesar 298,28 N dan 37,824 MPa dengan modulus sebesar 1410,0 MPa.

4.4.2 Uji Spesimen Lentur Epoxy 96% : 4 % TiO₂

Hasil pengujian lentur dengan material epoxy 96% ditambahkan TiO₂ 4% diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil pengujian uji lentur EP 96 % : 4% TiO₂

Test No	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Elastic Modulus (MPa)
1	28,73	7,82	269,26	27,816	2081
2	28,4	7,42	299,59	34,775	2214,3
3	28,63	7,67	250,36	26,979	2102,1
5	28,25	7,59	254,2	28,35	2261,6
7	28,43	7,42	260,04	30,153	2380,9
Rata-rata	28,488	7,584	266,69	29,6146	2207,98
stdev	0,1711	0,1529	17,640	2,7820	109,682

Pada tabel 4.11 merupakan hasil pengujian lentur 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $266,69 \pm 17,640$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $29,6146 \pm 2,7820$ Mpa, dan nilai rata-rata modulus elastisitas $2207,98 \pm 109,682$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-2 dengan nilai 299,59 N dan 34,775 MPa dengan modulus sebesar 2214,3 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah

pada spesimen ke-3 sebesar 250,36 N dan 26,979 MPa dengan modulus sebesar 2102,1 MPa.

4.4.3 Uji Spesimen Lentur Epoxy 92% : 8 % TiO₂

Hasil pengujian lentur dengan material epoxy 92% ditambahkan TiO₂ 8 % diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Hasil pengujian uji lentur EP 92 % : 8 % TiO₂

Test No	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Elastic Modulus (MPa)
2	28,08	7,04	256,56	33,459	1967,6
3	27,74	7,18	229,87	29,175	2069
4	28,1	7,12	260,36	33,173	2093,7
5	27,9	7,09	244,11	31,591	2101,7
6	28,16	6,98	223,04	29,506	2096
Rata-rata	27,996	7,082	242,788	31,3808	2065,6
stdev	0,1546	0,0682	14,5399	1,7863	50,2643

Pada tabel 4.12 merupakan hasil pengujian lentur 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $242,788 \pm 14,5399$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $31,3808 \pm 1,7863$ Mpa, dan rata-rata *elastic modulus* $2065,6 \pm 50,2643$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-4 dengan nilai 260,36 N dan 33,173 MPa dengan nilai modulus sebesar 1967,6 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah pada spesimen ke-3 sebesar 229,87 N dan 29,175 MPa dengan nilai modulus 2069 MPa.

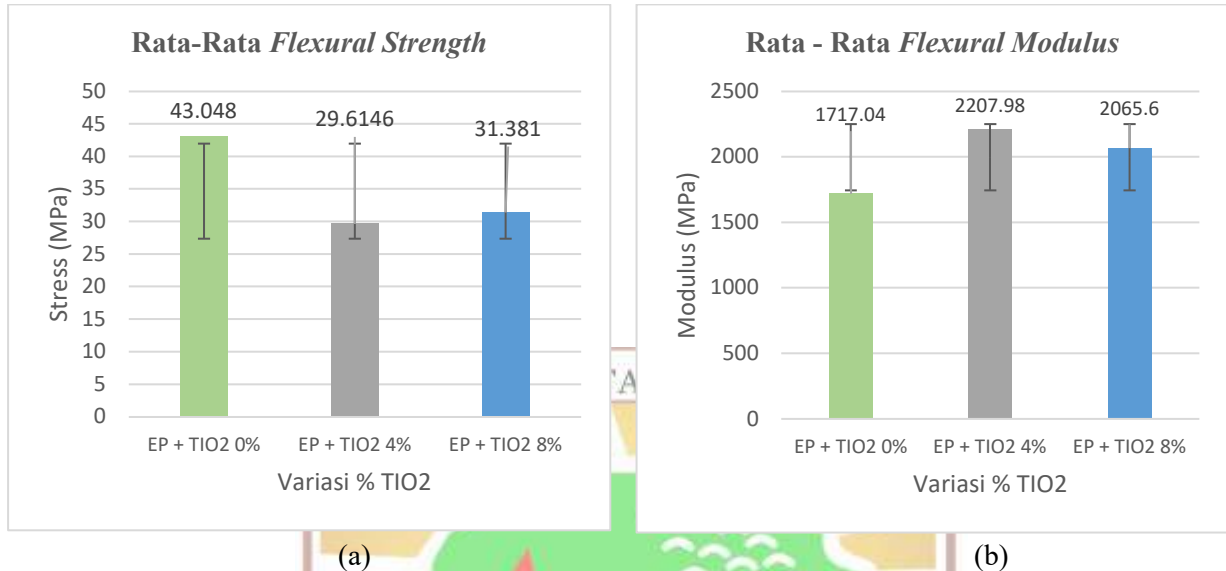
4.4.4 Perbandingan Hasil Uji Lentur Variasi %Volume Komposit

Hasil pengujian lentur rata-rata material epoxy dengan penambahan TiO₂ diperoleh data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil pengujian rata-rata uji lentur

Persentase TiO ₂	Maximum Load (N)	Flexural Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)
EP + TiO ₂ 0%	$343,668 \pm 33,654$	$43,048 \pm 4,232$	$1717,04 \pm 228,707$

EP + TiO ₂ 4%	266,69 ± 17,64	29,615 ± 2,782	2207,98 ± 109,682
EP + TiO ₂ 8%	242,788 ± 14,54	31,38 ± 1,786	2065,6 ± 50,264



Gambar 4.5 Perbandingan rata-rata (a) *flexural strength* dan (b) *flexural modulus*

Gambar grafik (a) diatas memperlihatkan bahwa nilai *flexural strength* komposit mengalami penurunan seiring dengan penambahan kandungan TiO₂ didalam resin *epoxy*. Penambahan kandungan TiO₂ 4% didalam resin *epoxy*, mengalami penurunan dari nilai *flexural strength* epoxy murni sebesar 31,21% sedangkan untuk penambahan TiO₂ 8% nilai *flexural strength* mengalami penurunan sebesar 27,1%. Ini menunjukkan semakin besar kandungan TiO₂ didalam komposit epoxy-TiO₂ mengakibatkan terjadinya penurunan kekuatan *flexural strength*.

Menurut hasil penelitian Vishnu Prasad et. al (2018), menyatakan penurunan lebih lanjut dalam nanopartikel TiO₂ menyebabkan aglomerasi antara nanopartikel mengakibatkan pengurangan luas permukaan sehingga mengurangi interaksi matriks epoxy, ini akan mengurangi efisiensi transfer beban dari matriks epoxy ke pengisi nanopartikel TiO₂ sehingga mengakibatkan penurunan kekuatan lentur, tetapi untuk kekuatan lentur matriks *epoxy* masih tinggi [29]. Pada Gambar grafik (b) memperlihatkan bahwa terjadinya peningkatan *flexural modulus epoxy* murni dengan penambahan kandungan TiO₂. Untuk kandungan TiO₂ 4% kenaikan *flexural modulus* sebesar 28,59% sedangkan untuk TiO₂ 8% kenaikan *flexural modulus* sebesar 20,3 %. Jika dibandingkan kedua variasi kandungan TiO₂

tersebut, nilai uji lentur TiO₂ 4% nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan kandungan TiO₂ 8%.

4.5 Pengujian Geser (*Shear Test*)

Pengujian ini dilakukan untuk menguji ketahanan suatu material, dimana material didesak melalui dua arah yang berbeda dengan besar gaya yang sama sampai terjadi deformasi (perubahan bentuk) atau *displacement* (proses pergeseran) dari suatu material. Pada pengujian ini spesimen dibuat dengan menggunakan *V Notch* sebagai takikan. Data pengujian mencakup nilai *maximum point load*, *maximum point stress*, *elastic modulus* serta grafik *stress-strain*.

4.5.1 Uji Spesimen Geser 100% : 0 % TiO₂

Hasil pengujian geser dengan material *epoxy* tanpa ditambahkan TiO₂ diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Hasil pengujian uji geser EP 100 % : 0 % TiO₂

Test No	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum load (N)	Maximum point stress (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Break Point Strain %GL
2	11,48	7,08	81,278	1452,3	17,868	497,14	1,5537
3	11,24	6,50	73,06	1202,8	16,463	624,79	1,2695
4	11,23	6,35	71,311	894,91	12,55	529,05	0,9309
6	10,79	7,36	79,414	1092	13,751	734,2	1,0674
7	10,62	7,32	77,738	896,55	11,533	798,54	0,8795
Rata-rata	11,072	6,922	76,560	1107,712	14,433	636,744	1,1402
stdev	0,3173	0,4196	3,7840	208,7599	2,1733	115,6769	0,2468

Pada tabel 4.14 merupakan hasil pengujian geser 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $1107,712 \pm 208,759$ N, nilai rata-rata *maximum point stress* $14,433 \pm 2,1733$ MPa, dan rata-rata *elastic modulus* $636,744 \pm 115,6769$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-2 dengan nilai 1452,3 N dan 17,868 MPa dengan nilai modulus sebesar 497,14 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress*

terendah pada spesimen ke-7 sebesar 896,55 N dan 11,533 MPa dengan nilai modulus sebesar 798,54 MPa.

4.5.2 Uji Spesimen Geser Epoxy 96% : 4 % TiO₂

Hasil pengujian geser dengan material epoxy 96 % ditambahkan TiO₂ 4% diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Hasil pengujian uji geser EP 96 % : 4 % TiO₂

Test No	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum load (N)	Maximum point stress (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Break Point Strain %GL
2	10,63	7,45	79,194	1315,8	16,616	724,56	1,1915
4	10,89	7,52	81,893	1278,5	15,612	833,15	1,3397
5	10,85	7,57	82,135	870,23	10,595	968,54	0,6938
6	10,44	7,46	77,882	865,47	11,113	939,27	0,7497
7	10,94	7,54	82,488	935,77	11,344	1239,5	0,7499
Rata-rata	10,75	7,508	80,7184	1053,154	13,056	941,004	0,9449
Stdev	0,1877	0,0462	1,8377	201,111	2,5286	172,2449	0,2667

Pada tabel 4.15 merupakan hasil pengujian geser 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh rata-rata *maximum load* sebesar $1053,154 \pm 201,111$ N, rata-rata *maximum point stress* $13,056 \pm 2,5286$ Mpa, dan nilai rata-rata *elastic modulus* $941,004 \pm 172,2449$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-2 dengan nilai 1315,8 N dan 16,616 MPa dengan modulus sebesar 724,56 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah pada spesimen ke-5 sebesar 870,23 N dan 10,595 MPa dengan nilai modulus sebesar 968,54 MPa.

4.5.3 Uji Spesimen Geser Epoxy 92% : 8 % TiO₂

Hasil pengujian geser dengan material epoxy 92 % ditambahkan TiO₂ 8% diperoleh data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Hasil pengujian uji geser EP 92 % : 8 % TiO₂

Test No	Width (mm)	Depth (mm)	Area (mm ²)	Maximum load (N)	Maximum point stress (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Break Point Strain %GL
---------	------------	------------	-------------------------	------------------	----------------------------	-----------------------	------------------------

1	10,84	7,55	81,842	568,88	6,951	438,61	0,4158
3	9,75	7,67	74,783	732,46	9,795	692,25	0,6967
4	10,42	7,61	79,296	620,49	7,825	519,59	0,4649
5	10,31	7,66	78,975	455,81	5,772	626,87	0,2332
6	10,88	7,68	83,558	517,31	6,191	655,32	0,3611
Rata-rata	10,44	7,634	79,6908	578,99	7,30668	586,528	0,43434
Stdev	0,4115	0,04841	2,9778	94,1862	1,4217	93,6988	0,1522

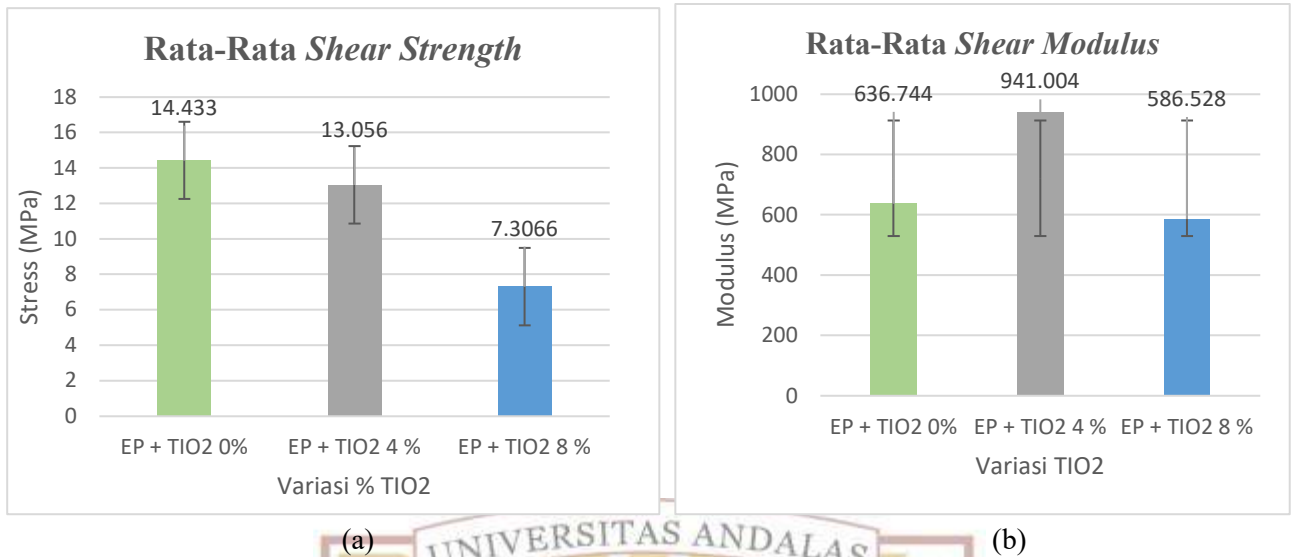
Pada tabel 4.16 merupakan hasil pengujian geser 5 spesimen dari 7 spesimen yang telah diuji, hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata *maximum load* sebesar $578,99 \pm 94,1862$ N, rata-rata *maximum point stress* $7,306 \pm 1,4217$ MPa, dan nilai rata-rata *elastic modulus* $586,528 \pm 93,6988$ MPa. Untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* yang paling tinggi yakni pada spesimen yang ke-3 dengan nilai 732,46 N dan 9,7945 MPa dengan modulus sebesar 692,25 MPa. Sedangkan untuk nilai *maximum load* dan *maximum point stress* terendah pada spesimen ke-5 sebesar 455,81 N dan 5,772 MPa dengan nilai modulus sebesar 626,87MPa.

4.5.4 Perbandingan Rata-Rata Uji Geser Variasi % volume Komposit

Hasil pengujian geser rata-rata material *epoxy* dengan penambahan TiO_2 diperoleh data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil pengujian rata-rata uji geser

Persentase TiO_2	Maximum Load (N)	Shear Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)
EP + TiO_2 0%	$1107,712 \pm 208,76$	$14,433 \pm 2,173$	$636,744 \pm 115,677$
EP + TiO_2 4 %	$1053,154 \pm 201,111$	$13,056 \pm 2,528$	$941,004 \pm 172,244$
EP + TiO_2 8 %	$578,99 \pm 94,186$	$7,30 \pm 1,427$	$586,528 \pm 94,40$



Gambar 4.6 Perbandingan rata-rata (a) *shear strength* (b) *shear modulus*

Gambar grafik (a) diatas memperlihatkan bahwa nilai *shear strength* komposit mengalami penurunan seiring dengan penambahan kandungan TiO₂ didalam resin *epoxy*. Penambahan kandungan TiO₂ 4% didalam resin *epoxy*, mengalami penurunan dari nilai *shear strength epoxy* murni sebesar 9,54% sedangkan untuk penambahan TiO₂ 8% nilai *shear strength* mengalami penurunan yang signifikan sebesar 49,375%. Pada Gambar grafik (b) memperlihatkan bahwa terjadinya peningkatan *shear modulus epoxy* murni dengan penambahan kandungan TiO₂. Pada kandungan TiO₂ 4% *shear modulus* mengalami kenaikan yang signifikan sebesar 47,78% sedangkan untuk TiO₂ 8% kenaikan *shear modulus* sebesar 7,88 %. Jika dibandingkan kedua variasi kandungan TiO₂ tersebut, nilai uji geser TiO₂ 4% nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan TiO₂ 8%.

. Perbedaan nilai uji geser dapat disebabkan karena kandungan TiO₂ didalam resin *epoxy*, selain itu pada saat pembebanan komposit pada takikan v terjadinya peningkatan konsentrasi tegangan yang berakibat besarnya kemampuan komposit untuk menahan deformasi plastis, sehingga ketika melewati batas panjang kritisnya nanofiller tidak mampu menahan pembebanan tersebut, selain itu kurang kuatnya ikatan antara *epoxy* dengan nanopartikel TiO₂ ini akan menyebabkan *debonding* (atau lepasnya ikatan antara *filler* dengan matriks), hal ini dapat mempengaruhi hasil pengujian geser.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan persentase fraksi volume TiO_2 terhadap sifat fisik komposit memberikan dampak yaitu meningkatnya densitas dan porositas sedangkan sifat mekanik komposit mengalami penurunan kekuatan.

2. Diperoleh *mechanical properties* komposit EP+ TiO_2 :

Komposit EP+ TiO_2 4%

- Kekuatan Tarik, nilai modulus tarik serta regangan tarik masing-masing dengan rata-rata 27,53 MPa, 2,38 GPa, 0,95%.
- Kekuatan Tekan, nilai modulus, regangan masing-masing dengan rata-rata 57,57 MPa, 1152,58 MPa, 3,42%
- Kekuatan Lentur, serta nilai modulus masing-masing dengan rata-rata 29,61 N, 2207,98 MPa
- Kekuatan Geser, nilai modulus, regangan masing-masing dengan rata-rata 13,06 MPa, 941 MPa, 0,94%

Komposit EP+ TiO_2 8%

- Kekuatan Tarik, nilai modulus tarik serta regangan tarik masing-masing dengan rata-rata 20,51 MPa, 2,31 GPa, 0,97%.
- Kekuatan Tekan, nilai modulus, regangan masing-masing dengan rata-rata 51,94 MPa, 890,4 MPa, 3,92%
- Kekuatan lentur, serta nilai modulus masing-masing dengan rata-rata 31,38 N, 2265,6 MPa
- Kekuatan geser, nilai modulus, regangan masing-masing dengan rata-rata 7,3 MPa, 586,52 MPa, 0,43%

3. Hal yang mempengaruhi kekuatan mekanik komposit EP+ TiO_2 yakni perbedaan komposisi kandungan TiO_2 , homogenitas campuran, porositas, terdapatnya *void*, serta aglomerasi partikel pada komposit.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian serta pengujian yang telah dilakukan, penulis menyarankan untuk melakukan investigasi lebih lanjut pada morfologi permukaan komposit dan patahan spesimen menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope*).



DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. William, Progress In Structural Material For Aerospace System, Acta Materialia, 2003.
- [2] W. D. Callister, Material Science And Engineering an Introduction Seventh Edition, New York: Jhon Willey and Sons Inc, 2007.
- [3] G. M.S., R. S. dan S. Halder, “Facile fabrication of epoxy-TiO₂ nanocomposites : A Critical Analysis of TiO₂ impact on mechanical properties and toughening mechanisms,” *Ultrasonics - Sonochemistry*, vol. 2, pp. 861-873, 2018.
- [4] D. Pinto, L. Bernardo, A. Amaro dan S. Lopes, “Mechanical Properties of Epoxy nanocomposites using titanium dioxide as reinforcement- A review,” *Contruction and Building Materials*, vol. 1, pp. 506-524, 2015.
- [5] H. W. Mickel, Stress And Analysis Of Fiber Reinforced Composite Material, Singapore: Mc Graw-hill, 1998.
- [6] W. F. Smith, Principle of Materials Science And Engineering, 2nd Edition, Singapore: Mc Graw-Hill, 1996.
- [7] D. Chandramohan, “RETRACTED ARTICLE: Review on Tribological Performance of Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites,” 20 December 2018. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40735-018-0172-x>. [Diakses 12 Oktober 2019].
- [8] K. R, D. H, K. A. K. dan S. , “Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam,” *J. Sains Mater Indonesia*, vol. 3, no. 3, pp. 30-38, 2002.
- [9] O. J, S. F dan L. R, “Analisis Mekanik Material Komposit Serat Sabut Kelapa,” *Poros Tek*, vol. 1, no. 1, p. 10, 2013.
- [10] W. A, “Pendahuluan Polimer,” 2014.
- [11] M. S., “Composite Manufacturing : Materials, Product, and Process Engineering,” Florida, 2001.

- [12] F. H dan A. N, "Pengaruh Variasi Komposisi komposit resin epoxy/serat," *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. II, pp. 84-89, 2014.
- [13] M. K. Prakash , M. Kumar, R. Kumar dan H. Govindaraju , "Characterization of Mechanical Properties of Epoxy Reinforced with Glass Fiber and Coconut Fiber," *Material today : Proceedings*, vol. XVI, no. 1, pp. 661-667, 2019.
- [14] X. Chen dan S. S. Mao, "Titanium Dioxide Nanomaterials : Synthesis, Properties, Modification And Applications," *Chemical Reviews*, pp. 2891-2959, 2007.
- [15] A. Chatterjee dan M. S. Islam, "Fabrication and Characterization of TiO₂-Epoxy Nanocomposite," *Material Science And Engineering*, pp. 574-585, 2008.
- [16] Y. Xiaodong dan C. Xiaobo, "Titanium Dioxide Nanomaterials," *Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry*, vol. 1, no. 1, p. 23, 2015.
- [17] B. Setiadi dan S. , "Kajian Sifat Fisis dan Mekanis Material Komposit dengan Matrik AlSiMg Diperkuat dengan Serbuk SiC," *Prosiding SNATIF*, vol. 1, no. 1, pp. 153-160, 2014.
- [18] M. Ridha dan D. , "Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro material poroklastik dengan Variasi Lokasi Menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. XII, no. 3, pp. 1-7, 2016.
- [19] A. Chatterjee dan M. S. Islam, "Fabrication and Characterization of TiO₂ - Epoxy nanocomposites," *Materials Science and Engineering A* 487, pp. 574-585, 2008.
- [20] L. M. Hamming, R. Qiao dan P. B. Messersmith, "Effects of dispersion and interfacial modification on the macroscale properties of TiO₂ Polymer-Matrix nanocomposites," *Composites Science and Technology* 09, pp. 1880-1886, 2019.
- [21] A. Mirmohseni dan Z. S., "Preparation and characterization of an epoxy nanocomposites toughened by a combination of thermoplastic, layered and particulate nano-filler," *Materials and Design* 31, pp. 2699-2706, 2010.



- [22] Y. Zhou, W. Evert dan H. Mahesh , “Effect of particle size and weight fraction on the flexural strength and failure mode of TiO₂ particles reinforced epoxy,” *Material Letters* 64, pp. 806-809, 2010.
- [23] H. A. Al-Turaif, “Effect of nano TiO₂ particle size on mechanical properties of cured epoxy resin,” *Progress in Organic Coatings* 69, p. 241–246, 2010.
- [24] siddhartha, A. Patnaik dan A. D. Bhatt, “Mechanical and dry sliding wear characterization of epoxy–TiO₂ particulate filled functionally graded composites materials using Taguchi design of experiment,” *Material and Design* 32, pp. 615-627, 2011.
- [25] D. ASTM, “Standard Test Method for Tensile Properties Of Plastics,” dalam *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.
- [26] D. ASTM, “Standard Test Methods For Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials,” dalam *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, USA, American Society For Testing and Materials (ASTM).
- [27] D. ASTM, “Standart Test Method For Shear Properties Of Polymer Matrix Composite Material By the V-Notched,” dalam *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials (ASTM).
- [28] N. Bezy dan A. Fathima, “International Journal of Engineering Research and General Science,” *Effect of TiO₂ nanoparticles on Mechanical Properties of Epoxy-Resin System*, vol. III, no. 5, pp. 2091-2730, 2015.
- [29] V. Prasad, M. Joseph, K. Sekar dan M. Ali, “Materials Today Proceedings,” *Flexural and impact properties of flax fibre reinforced epoxy composite with nano TiO₂ addition*, vol. 1, no. 5, pp. 24862 - 24870, 2018.

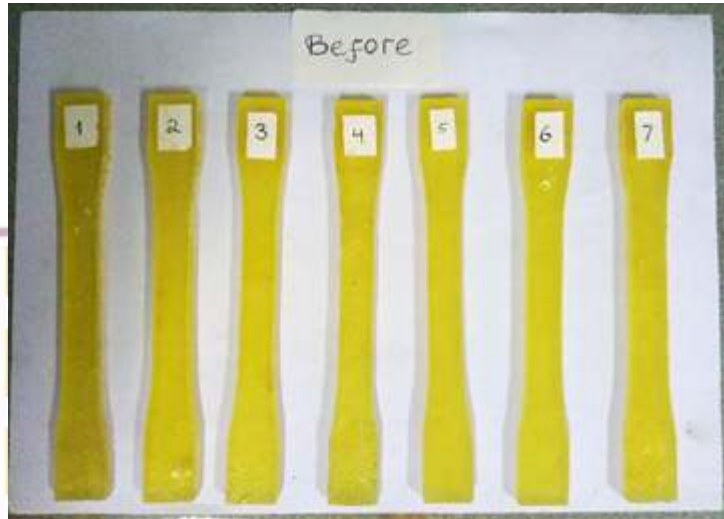


LAMPIRAN A
FOTO SAMPEL KOMPOSIT *EPOXY-TiO₂*

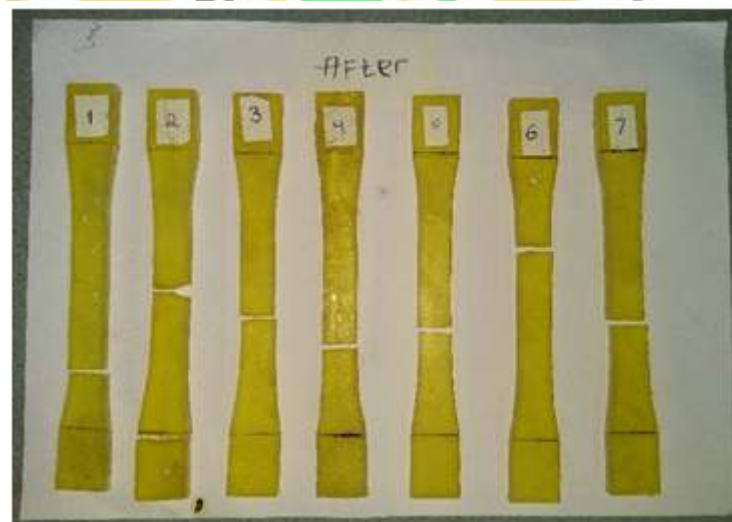
1. Pengujian Tarik

1.1 Sampel fraksi volum epoxy 100%, TiO₂ 0 %

- **Sebelum pengujian**

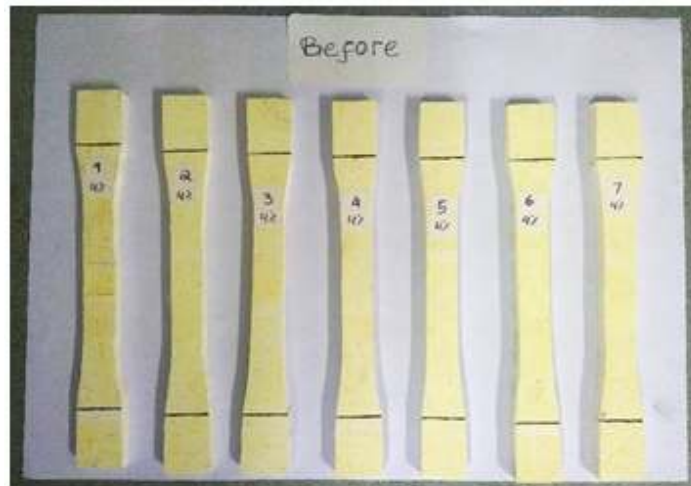


- **Setelah pengujian**

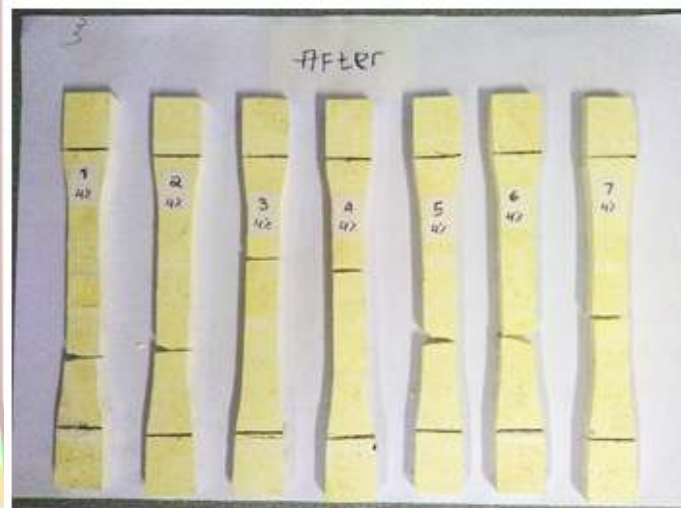


1.2 Sampel fraksi volum epoxy 96 %, TiO₂ 4 %

- **Sebelum pengujian**

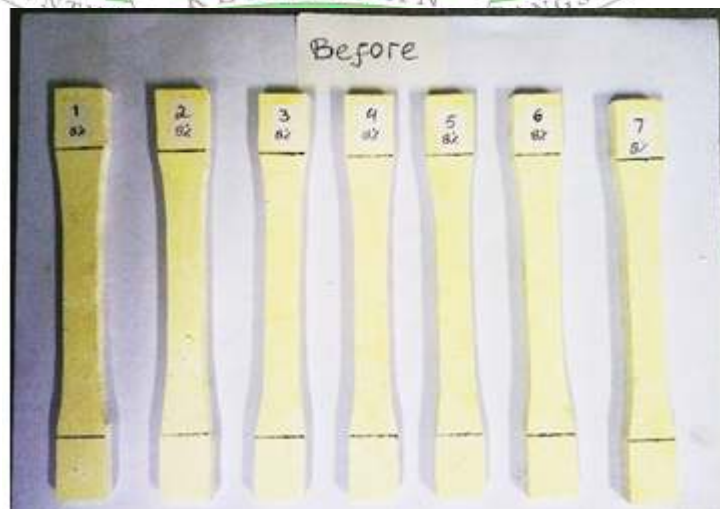


- Setelah Pengujian

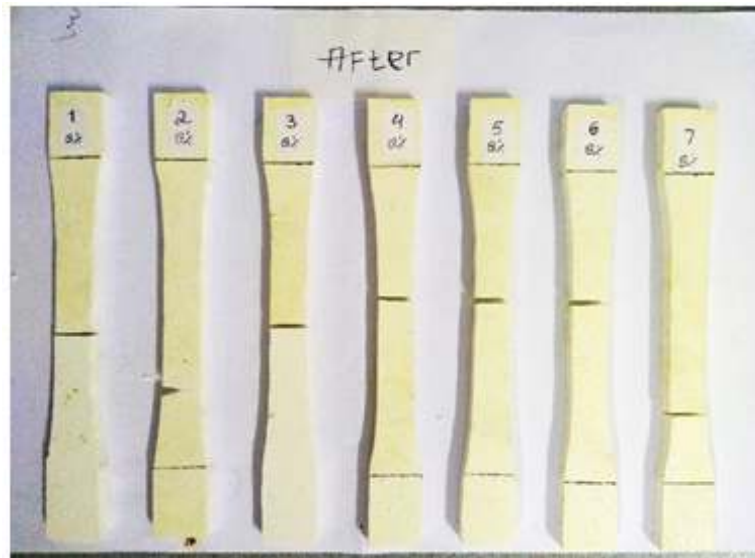


1.3 Sampel fraksi volum epoxy 92 %, TiO₂ 8 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



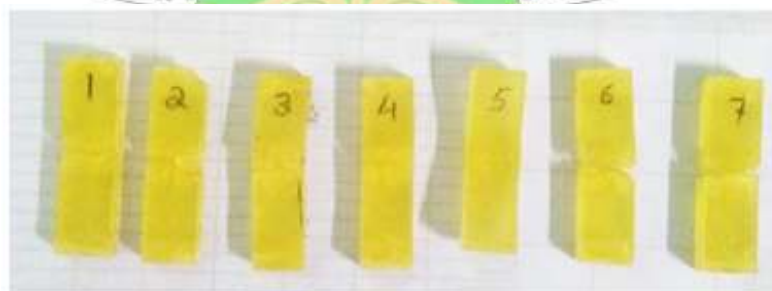
2. Pengujian Tekan

2.1 Sampel fraksi volum epoxy 100%, TiO₂ 0 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



2.2 Sampel fraksi volum epoxy 96 %, TiO₂ 4 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



2.3 Sampel fraksi volum epoxy 92 %, TiO₂ 8 %

- Sebelum pengujian



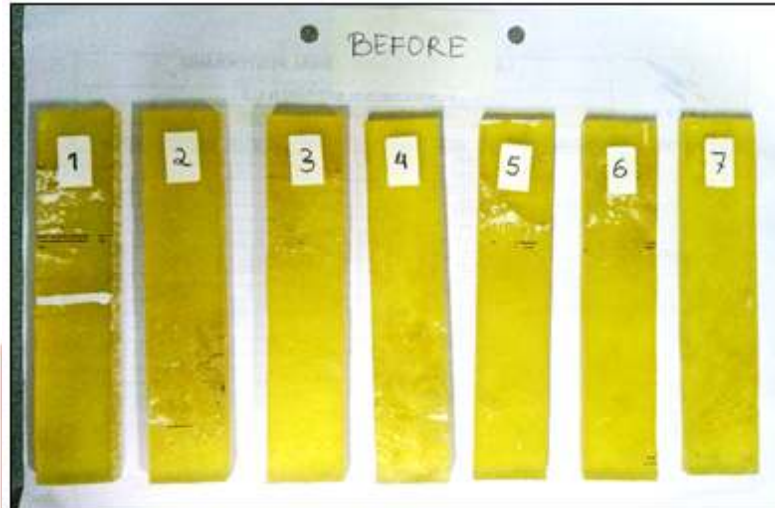
- Setelah pengujian



3. Pengujian Lentur

3.1 Sampel fraksi volum epoxy 100%, TiO₂ 0 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



3.2 Sampel fraksi volum epoxy 96%, TiO₂ 4 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



3.3 Sampel fraksi volum epoxy 92%, TiO₂ 8 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



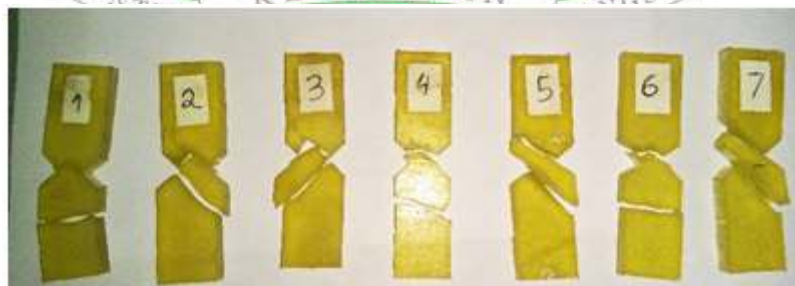
4. Pengujian Geser

4.1 Sampel fraksi volum epoxy 100%, TiO₂ 0 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



4.2 Sampel fraksi volum epoxy 96 %, TiO₂ 4 %

- Setelah pengujian



4.3 Sampel fraksi volum epoxy 92 %, TiO₂ 8 %

- Sebelum pengujian



- Setelah pengujian



5. Pengujian Density

5.1 Sampel pengujian density



LAMPIRAN B PERHITUNGAN

- **Perhitungan variasi Fraksi Volume**

Pada proses pengecoran bahan komposit yang berasal dari resin epoxy yang diperkuat dengan serbuk Titania (TiO_2), diperoleh data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Volume Cetakan} &= p \times l \times t \\ &= 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \\ &= 1120000 \text{ mm}^3 = 1120 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis } \text{TiO}_2 (\rho) = 4,25 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Massa Jenis matriks epoxy} = 1,17 \text{ g/cm}^3$$

a) Perhitungan variasi fraksi volume serbuk Titanium Oksida (TiO_2) 0 %

Diketahui :

$$\text{Variasi fraksi volume serbuk } \text{TiO}_2 = 0 \%$$

$$\text{Variasi fraksi volume matriks epoxy} = 100 \%$$

$$\text{Massa Jenis serbuk } \text{TiO}_2 = 4,25 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Massa Jenis matriks epoxy} = 1,17 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume } \text{TiO}_2 \quad V_f &= \frac{V_c \times \text{Fraksi Volume}}{100 \%} \\ &= 1120 \text{ cm}^3 \times 0 \% \\ &= 0 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{TiO}_2 \quad M_f &= V_f \times \rho_f \\ &= 0 \% \times 4,25 \text{ g/cm}^3 \\ &= 0 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Epoxy} \quad V_m &= \frac{V_c \times \text{Fraksi Volume}}{100 \%} \\ &= \frac{1120 \text{ cm}^3 \times 100 \%}{100 \%} \\ &= 1120 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Epoxy} \quad M_m &= V_m \times \rho_m \\ &= 1120 \text{ cm}^3 \times 1,17 \text{ g/cm}^3 \\ &= 1310,4 \text{ g} \end{aligned}$$

b) Perhitungan variasi fraksi volume serbuk Titanium Oksida (TiO₂) 4 %

Diketahui :

Variasi fraksa volume serbuk TiO₂ = 4 %

Variasi fraksa volume matriks epoxy = 96 %

Massa Jenis serbuk TiO₂ = 4,25 g/cm³

Massa Jenis matriks epoxy = 1,17 g/cm³

Volume TiO₂ $V_f = \frac{V_c \times \text{Fraksi Volume}}{100 \%}$

$$= \frac{1120 \text{ cm}^3 \times 4 \%}{100\%}$$

$$= 44,8 \text{ cm}^3$$

Massa TiO₂ $M_f = V_f \times \rho_f$

$$= 44,8 \text{ cm}^3 \times 4,25 \text{ g/cm}^3$$

$$= 190,4 \text{ g}$$

Volume Epoxy $V_m = \frac{V_c \times \text{Fraksi Volume}}{100 \%}$

$$= \frac{1120 \text{ cm}^3 \times 96 \%}{100 \%}$$

$$= 1075,2 \text{ cm}^3$$

Massa Epoxy $M_m = V_m \times \rho_m$

$$= 1075,2 \text{ cm}^3 \times 1,17 \text{ g/cm}^3$$

$$= 1257,984 \text{ g}$$

c) Perhitungan variasi fraksi volume serbuk Titanium Oksida (TiO₂) 8 %

Variasi fraksa volume serbuk TiO₂ = 8 %

Variasi fraksa volume matriks epoxy = 92 %

Massa Jenis serbuk TiO₂ = 4,25 g/cm³

Massa Jenis matriks epoxy = 1,17 g/cm³

Volume TiO₂ $V_f = \frac{V_c \times \text{Fraksi Volume}}{100 \%}$

$$= \frac{1120 \text{ cm}^3 \times 8 \%}{100 \%}$$

$$= 89,6 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 \quad M_f &= V_f \times \rho_f \\ &= 89,6 \text{ cm}^3 \times 4,25 \text{ g/cm}^3 \\ &= 380,8 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Epoxy} \quad V_m &= \frac{V_c \times \text{Fraksi Volume}}{100 \%} \\ &= \frac{1120 \text{ cm}^3 \times 92 \%}{100 \%} \\ &= 1030,4 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Epoxy} \quad M_m &= V_m \times \rho_m \\ &= 1030,4 \text{ cm}^3 \times 1,17 \text{ g/cm}^3 \\ &= 1205,568 \text{ g} \end{aligned}$$

- **Perhitungan Pengujian Porositas Komposit**

Persamaan yang digunakan ini adalah

- $$\emptyset = \frac{\rho_{\text{teoritis}} - \rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}} \times 100 \%$$

Dimana :

- $$\rho_{\text{teoritis}} = \rho_{ep} \cdot V_{ep} + \rho_{TiO_2} \cdot V_{TiO_2}$$

- $$\rho_{\text{aktual}} = \frac{\text{Berat diudara (g)}}{\text{Berat Diudara (g)} - \text{Berat dalam air (g)}} \times \rho_{\text{air}}$$

a) **Spesimen dengan variasi Epoxy 100 % tanpa ditambah TiO₂**

$$\begin{aligned} \rho_{\text{teoritis}} &= (\rho_{ep} \cdot V_{ep}) + (\rho_{TiO_2} \cdot V_{TiO_2}) \\ &= (1,17 \text{ g/cm}^3 \cdot 1) + (4,25 \text{ g/cm}^3 \cdot 0) \\ &= 1,17 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{aktual}} &= \frac{\text{Berat diudara (g)}}{\text{Berat Diudara (g)} - \text{Berat dalam air (g)}} \times \rho_{\text{air}} \\ &= 1,111 \text{ g/cm}^3 \text{ (densitometer)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porositas } \emptyset &= \left(1 - \frac{\rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}}\right) \times 100 \% \\ &= \left(1 - \frac{1,111 \text{ g/cm}^3}{1,17 \text{ g/cm}^3}\right) \times 100\% \\ &= 5,043 \% \end{aligned}$$

b) Spesimen dengan variasi Epoxy 96 % : 4 % TiO₂

$$\begin{aligned}\rho_{\text{teoritis}} &= (\rho_{ep} \cdot V_{ep}) + (\rho_{TiO_2} \cdot V_{TiO_2}) \\ &= (1,17 \text{ g/cm}^3 \cdot 0,96) + (4,25 \text{ g/cm}^3 \cdot 0,04) \\ &= 1,2932 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{aktual}} &= \frac{\text{Berat diudara (g)}}{\text{Berat Diudara (g)} - \text{Berat dalam air (g)}} \times \rho_{\text{air}} \\ &= 1,219 \text{ g/cm}^3 \text{ (densitometer)}\end{aligned}$$

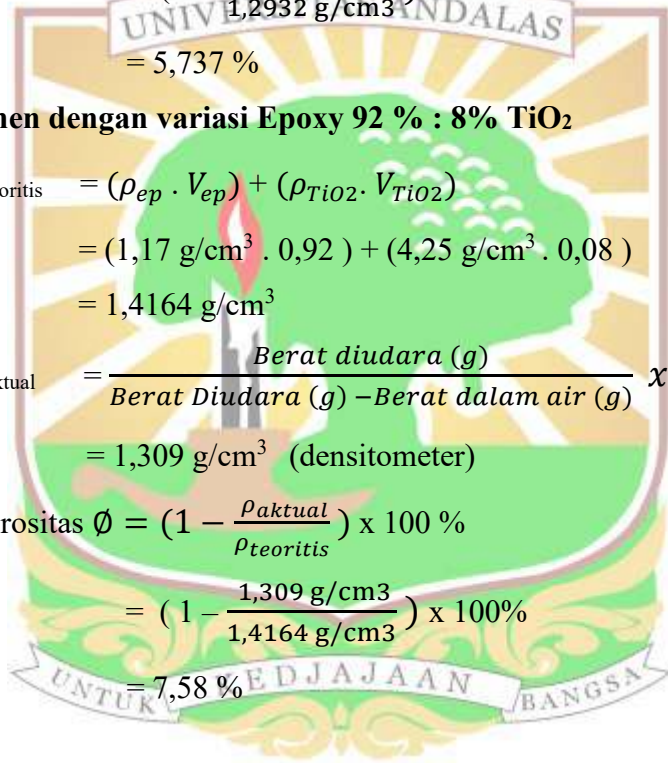
$$\begin{aligned}\text{Porositas } \emptyset &= \left(1 - \frac{\rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}}\right) \times 100 \% \\ &= \left(1 - \frac{1,219 \text{ g/cm}^3}{1,2932 \text{ g/cm}^3}\right) \times 100\% \\ &= 5,737 \%\end{aligned}$$

c) Spesimen dengan variasi Epoxy 92 % : 8% TiO₂

$$\begin{aligned}\rho_{\text{teoritis}} &= (\rho_{ep} \cdot V_{ep}) + (\rho_{TiO_2} \cdot V_{TiO_2}) \\ &= (1,17 \text{ g/cm}^3 \cdot 0,92) + (4,25 \text{ g/cm}^3 \cdot 0,08) \\ &= 1,4164 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{aktual}} &= \frac{\text{Berat diudara (g)}}{\text{Berat Diudara (g)} - \text{Berat dalam air (g)}} \times \rho_{\text{air}} \\ &= 1,309 \text{ g/cm}^3 \text{ (densitometer)}\end{aligned}$$

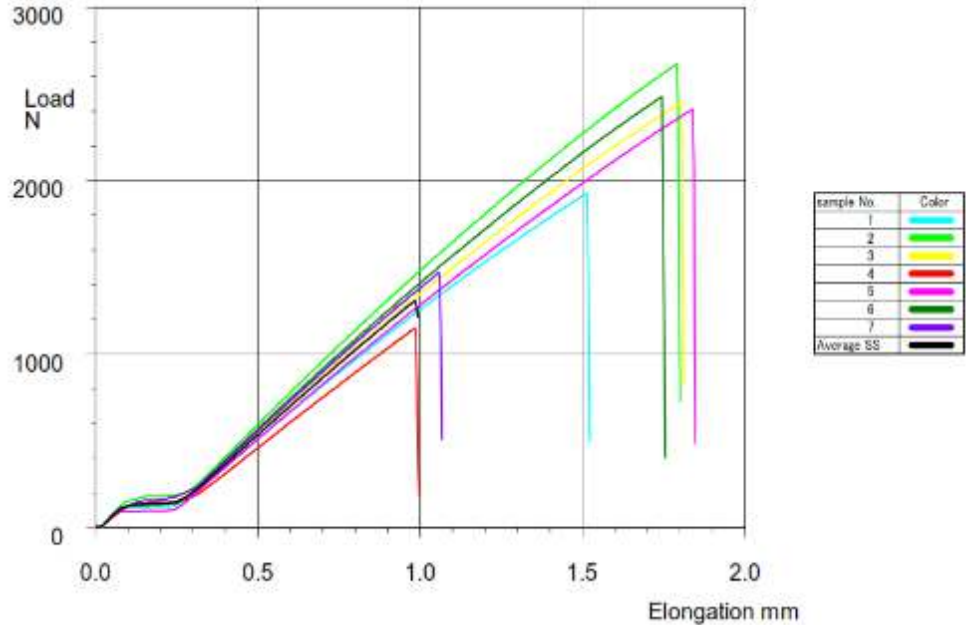
$$\begin{aligned}\text{Porositas } \emptyset &= \left(1 - \frac{\rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}}\right) \times 100 \% \\ &= \left(1 - \frac{1,309 \text{ g/cm}^3}{1,4164 \text{ g/cm}^3}\right) \times 100\% \\ &= 7,58 \%\end{aligned}$$



LAMPIRAN C
HASIL PENGUJIAN SAMPEL KOMPOSIT

1. Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

a) Uji Spesimen Tarik Epoxy 100 %



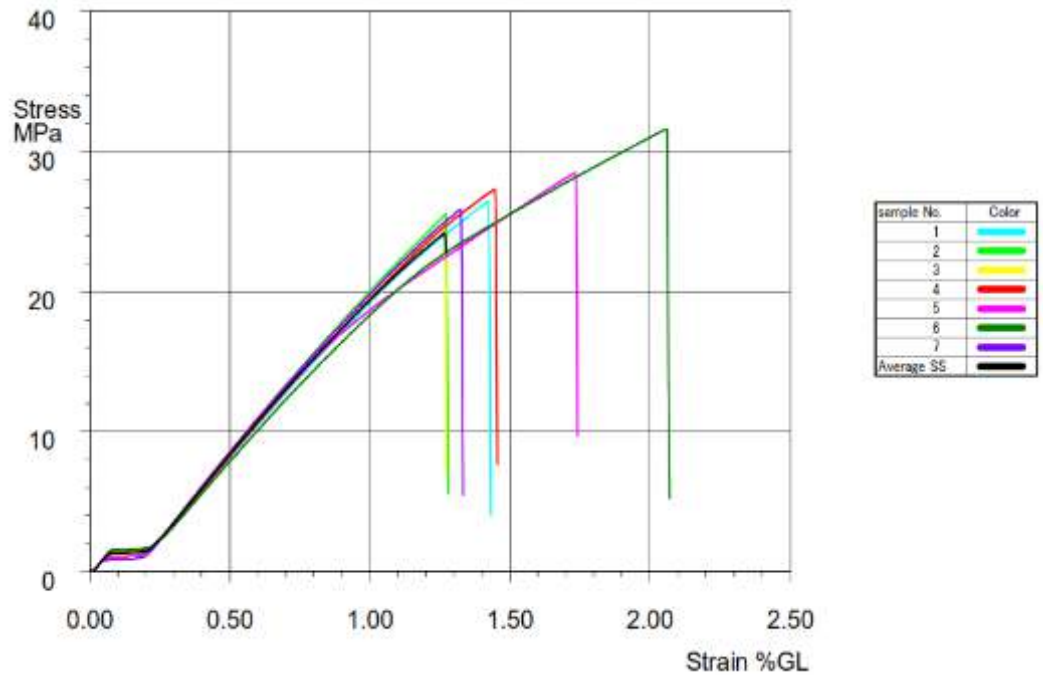
Tension testResult

Machine name	RTF			Test type	Tension		
Strain input 1	Not used			Test speed	5.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	N	0	0	Point data(Elong)	mm	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	0.1	0.3	Initial sample length	Distance	115 mm	
Strain	Pitch	0.001 %GL		Origin of elongation	Start		
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/17		Temperature	22 C	
Humidity	47.7 %RH		Sample name	Epoxy 100% + Hardener	
Lot No.	05. T085		Preparation		
Operator	Rezky		User	Rahmat	
Comment 1	ASTM D638		Comment 2		

TestID=725	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu	Break point
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	GPa	Strain %GL
1	13.600	6.5700	89.352	1926.5	21.561	1.9784	1.3157
2	13.820	7.0500	97.431	2672.4	27.428	2.0916	1.5577
3	13.770	6.8100	93.774	2445.5	26.079	2.1210	1.5677
4	13.810	6.2100	85.760	1146.9	13.373	1.8436	0.8550
5	13.830	6.5000	89.895	2409.8	26.807	2.1288	1.5994
6	13.620	6.8800	93.706	2481.5	26.482	2.2026	1.5176
7	13.750	6.7000	92.125	1468.5	15.940	2.1457	0.9199
Average	13.743	6.6743	91.720	2078.7	22.524	2.0731	1.3333
<small>Standard Deviation (s)</small>	0.0952	0.2767	3.7727	580.62	5.7549	0.1221	0.3189

b) Uji Spesimen Tarik Epoxy 96 % : 4 % TiO₂



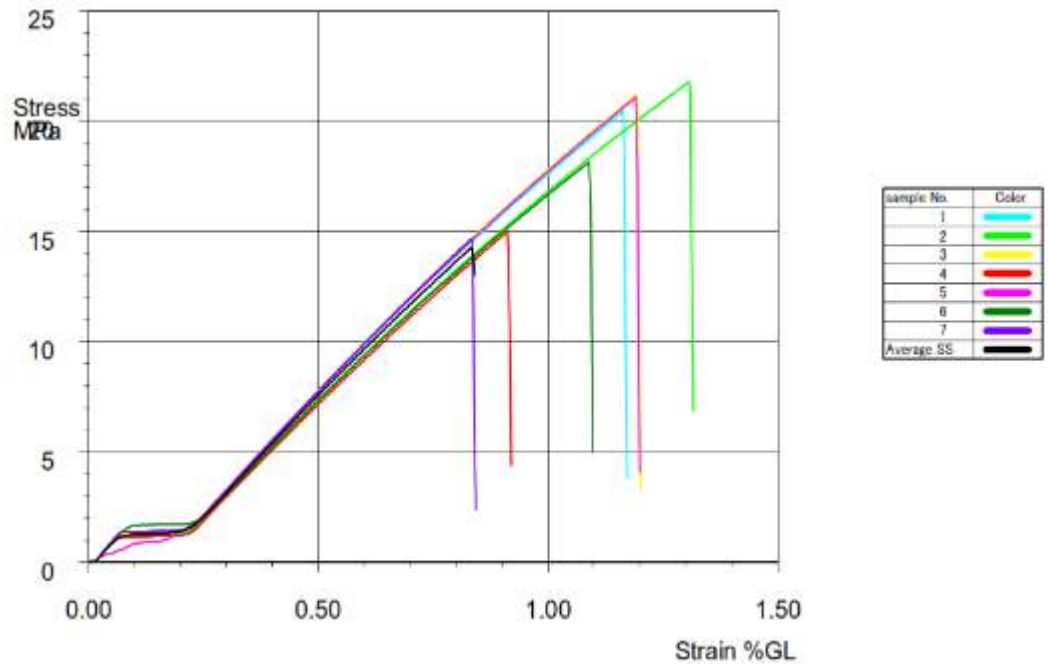
Tension testResult

Machine name	RTF			Test type	Tension		
Strain input 1	Not used			Test speed	5.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	N	0	0	Point data(Elong)	mm	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	0.1	0.3	Initial sample length	Distance	115 mm	
Strain	Pitch	0.001 %GL		Origin of elongation	Start		
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/17		Temperature	22.5 C	
Humidity	46.1 %RH		Sample name	Epoxy 96% + TiO2 4%	
Lot No.	05. T085		Preparation		
Operator	Rezky		User	Rahmat	
Comment 1	ASTM D638		Comment 2		

TestID=726 Test No	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu	Break point Strain
	mm	mm	mm ²	N	MPa	GPa	%GL
1	13.610	7.8700	107.11	2824.9	26.374	2.3215	1.4212
2	14.210	7.7900	110.70	2818.9	25.466	2.4863	0.0764
3	14.680	7.7000	113.04	2781.0	24.603	2.5445	0.0680
4	14.280	7.8500	112.10	3059.3	27.291	2.4017	1.4465
5	14.450	7.6900	111.12	3161.8	28.454	2.5291	1.7323
6	14.860	7.9900	118.73	3748.7	31.573	2.2027	0.0877
7	14.320	7.8000	111.70	2886.0	25.838	2.5829	1.3245
Average	14.344	7.8129	112.07	3040.1	27.085	2.4384	0.8795
Standard Deviations(1)	0.3983	0.1037	3.4841	342.39	2.3417	0.1373	0.7606

c) Uji Spesimen Tarik Epoxy 92 % : 8 % TiO₂



Tension testResult

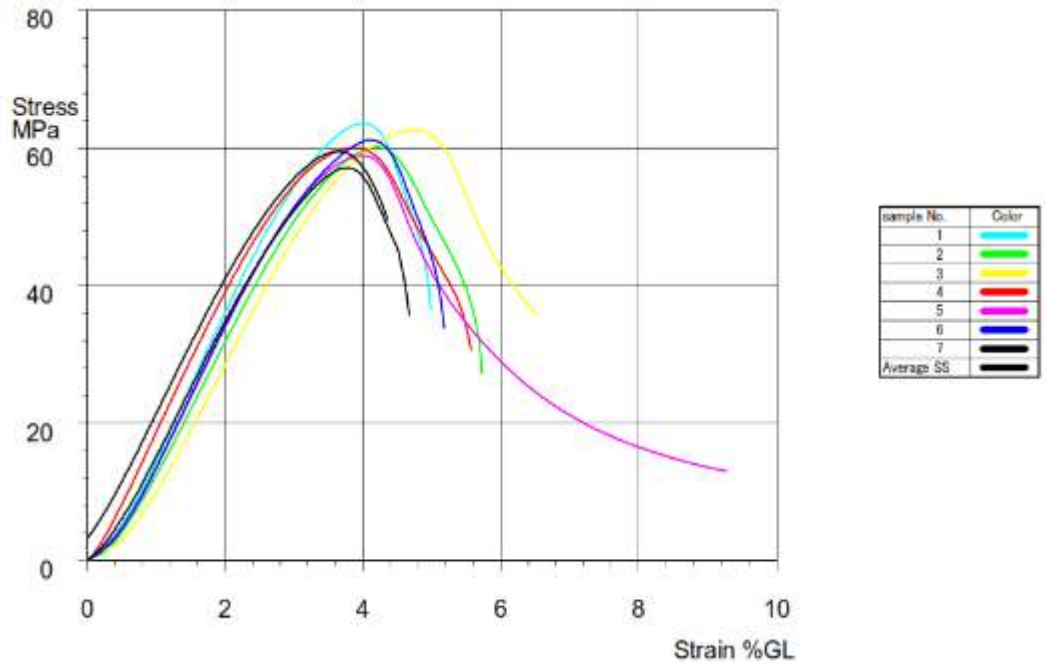
Machine name	RTF			Test type	Tension		
Strain input 1	Not used			Test speed	5.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0
	N	0	0	mm	0	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	0.1	0.3	Initial sample length	Distance 115 mm		
Strain	Pitch	0.001 %GL		Origin of elongation	Start		
Elong adjust	No			Break point measuren	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/17	Temperature	22.5 C
Humidity	44.1 %RH	Sample name	Epoxy 92% + TiO2 8%
Lot No.	05. T085	Preparation	
Operator	Rezky	User	Rahmat
Comment 1	ASTM D638	Comment 2	

TestID=727	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Elastic modu	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load	Stress	GPa	Strain
				N	MPa		%GL
1	13.490	7.5900	102.39	2092.5	20.437	2.3124	0.0710
2	13.980	7.6300	106.67	2322.1	21.769	2.2856	1.3075
3	13.900	7.4800	103.97	2200.4	21.163	2.2095	1.1942
4	13.960	7.6400	106.65	1598.4	14.987	2.2389	0.9115
5	13.780	7.5300	103.76	2186.6	21.073	2.3241	1.1914
6	13.940	7.6000	105.94	1920.7	18.129	2.1533	1.0896
7	13.930	7.5100	104.61	1530.5	14.630	2.3208	0.8347
Average	13.854	7.5686	104.86	1978.7	18.884	2.2635	0.9428
Standard Deviation(1)	0.1734	0.0620	1.6237	308.77	3.0158	0.0652	0.4188

2. Pengujian Tekan (*Compress Test*)

a) Uji Spesimen Tekan Epoxy 100%



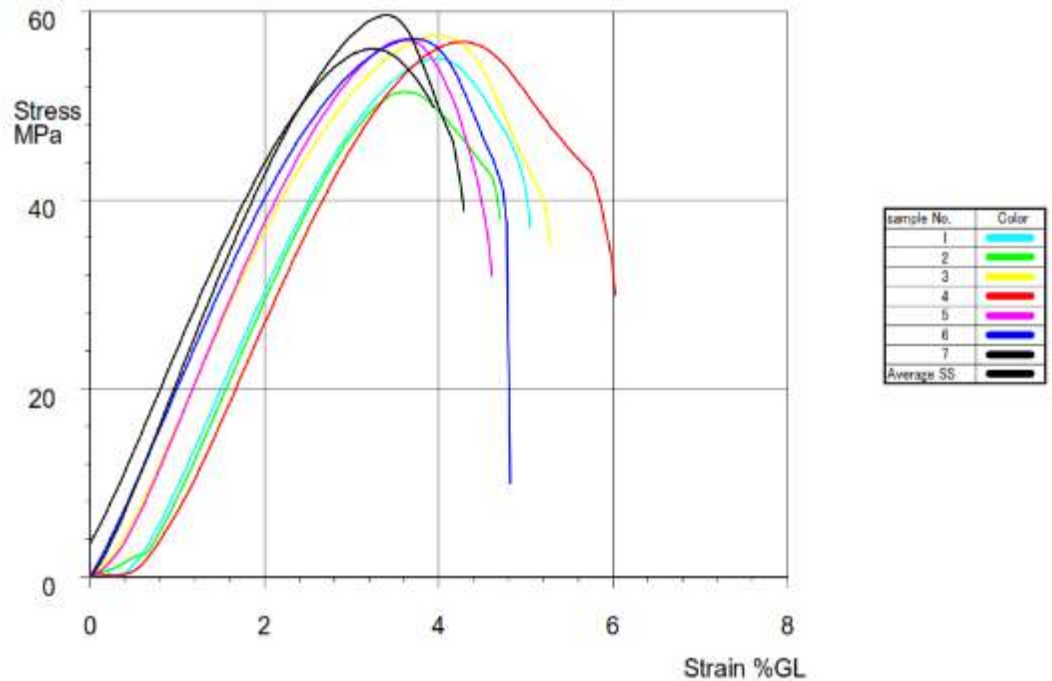
Compression testResult

Machine name	RTF		Test type	Tension Compression	
Strain input 1	Not used		Test speed	2.0 mm/min	
Chart speed	OFF		Machine rigidity	0 mm/kgf	
Point data(Load)	0	0	Point data(Disp)	0	0
	N	0	mm	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	Initial sample length	Distance	12.7 mm
Load	Pitch	5 N	Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO
Elong adjust	No		Break point measurement	0.5 N	
Save SS curve	Yes				

Test date	2020/02/12	Temperature	25.4 C
Humidity	51.4 %RH	Sample name	Epoxy 100% + TiO2 0%
Lot No.	10.C056	Preparation	Mech. Stirer
Operator	Rezky, Ryan, Afid	User	Rahmat
Comment 1	ASTM D695	Comment 2	

TestID=710	Width	Depth	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Elastic modu	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load	Stress	MPa	Strain
				N	MPa		%GL
1	13.800	7.2900	100.60	6392.0	63.538	926.92	3.6905
2	13.900	7.3800	102.58	6162.4	60.073	512.91	3.8041
3	13.630	7.0900	96.637	6046.8	62.573	606.60	4.2049
4	13.750	7.3500	101.06	6063.5	59.997	1062.9	3.6447
5	13.760	7.2300	99.485	5854.7	58.850	656.80	3.5913
6	13.710	7.1400	97.889	5980.0	61.089	487.93	3.7530
7	13.860	7.2700	100.76	5747.0	57.035	865.78	3.4538
Average	13.773	7.2500	99.860	6035.2	60.451	731.40	3.7346
Standard Deviation(1)	0.0841	0.0978	1.8759	193.88	2.0359	205.05	0.2190

b) Uji Spesimen Tekan Epoxy 96 % : 4 % TiO₂



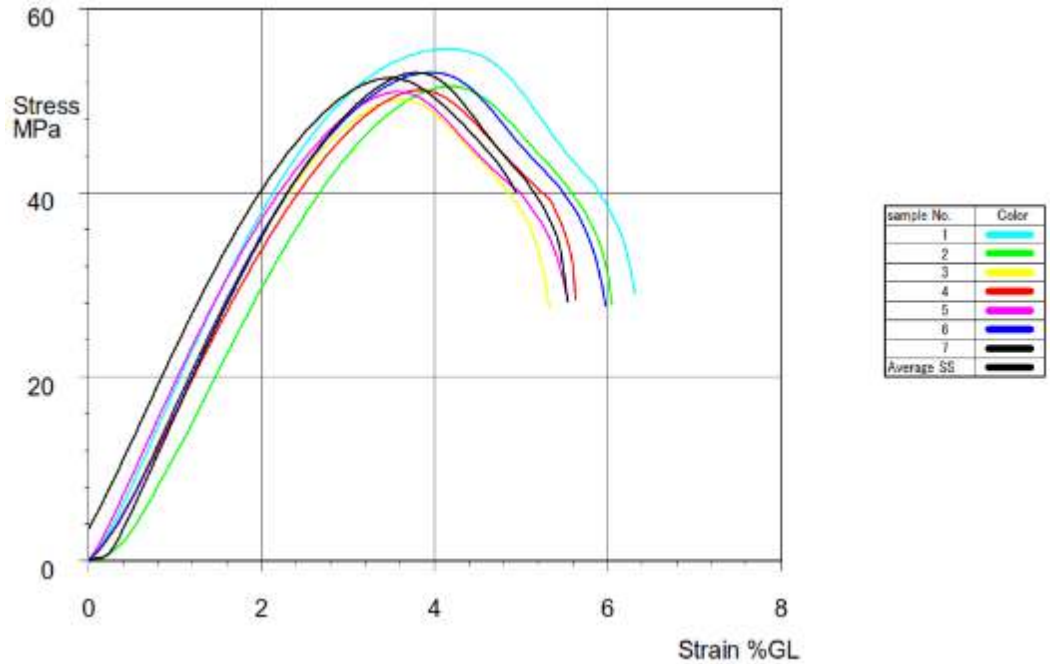
Compression testResult

Machine name	RTF			Test type	Tension Compression		
Strain input 1	Not used			Test speed	2.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Disp)	0	0	0
	N	0	0		mm	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	100	Initial sample length	Distance	13.7414 mm	
	Load	Pitch	5 N	Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO	
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/12	Temperature	25.3 C
Humidity	45.1 %RH	Sample name	Epoxy 96% + TiO ₂ 4%
Lot No.	10.C057	Preparation	
Operator	Rezky, Ryan, Afid	User	Rahmat
Comment 1		Comment 2	

TestID=711	Width	Depth	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Elastic modu	Break point
Test No	mm	mm	mm ²	Load	Stress	MPa	Strain
				N	MPa		%GL
1	13.710	6.6800	91.583	5034.4	54.971	737.01	3.3159
2	13.820	7.0000	96.740	4979.2	51.469	354.90	2.9261
3	13.930	7.0000	97.510	5600.2	57.432	916.53	3.6623
4	13.680	6.9000	94.392	5358.0	56.764	119.96	3.5042
5	13.630	6.7700	92.275	5261.6	57.021	647.64	3.2304
6	13.670	6.9800	95.417	5444.8	57.064	1691.4	3.5560
7	13.750	6.8400	94.050	5603.5	59.580	1316.4	3.1879
Average	13.741	6.8814	94.567	5326.0	56.329	826.26	3.3404
Standard Deviation(1)	0.0957	0.1152	2.0199	232.00	2.3437	501.10	0.2344

c) Uji Spesimen Tekan Epoxy 92 % : 8 % TiO₂



Compression testResult

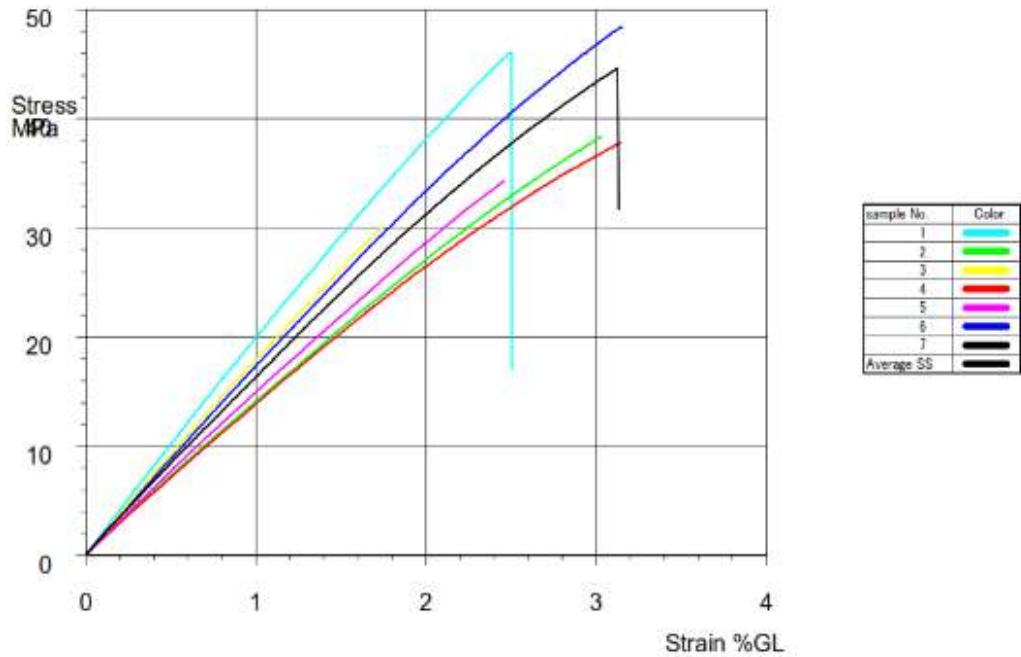
Machine name	RTF	Test type	Tension Compression
Strain input 1	Not used	Test speed	2.0 mm/min
Chart speed	OFF	Machine rigidity	0 mm/kgf
Point data(Load)	0 0 0	Point data(Disp)	0 0 0
	N 0 0 0		mm 0 0 0
Elastic modulus anal.	Interval 1 100	Initial sample length	Distance 12.7 mm
Load	Pitch 5 N	Origin of elongation	Init. load 0.3 %RO
Elong adjust	No	Break point measurem	0.5 N
Save SS curve	Yes		

Test date	2020/02/12	Temperature	24 C
Humidity	40.4 %RH	Sample name	Epoxy 92% + TiO2 8%
Lot No.	10.C058	Preparation	
Operator	Rezky, Ryan, Afid	User	Rahmat
Comment 1		Comment 2	

TestID=712	Width	Depth	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Elastic modu	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load	Stress	MPa	Strain
				N	MPa		%GL
1	13.750	7.0000	96.250	5349.9	55.583	1047.7	3.9192
2	13.790	6.9500	95.840	4939.7	51.541	649.80	5.5352
3	13.810	6.9200	95.565	4784.6	50.066	945.92	3.3105
4	13.810	7.1600	98.880	5055.4	51.126	1012.8	3.5814
5	13.610	7.1100	96.767	4928.8	50.934	1463.1	3.3772
6	13.930	7.1300	99.321	5271.1	53.072	968.78	3.6929
7	13.620	7.0500	96.021	5093.1	53.042	357.54	3.4132
Average	13.760	7.0457	96.949	5060.4	52.195	920.80	3.8328
Standard Deviation(1)	0.1049	0.0857	1.4081	184.11	1.7178	318.98	0.7216

3. Pengujian Lentur (*Three Point Bending Test*)

a) Uji Spesimen Lentur Epoxy 100%



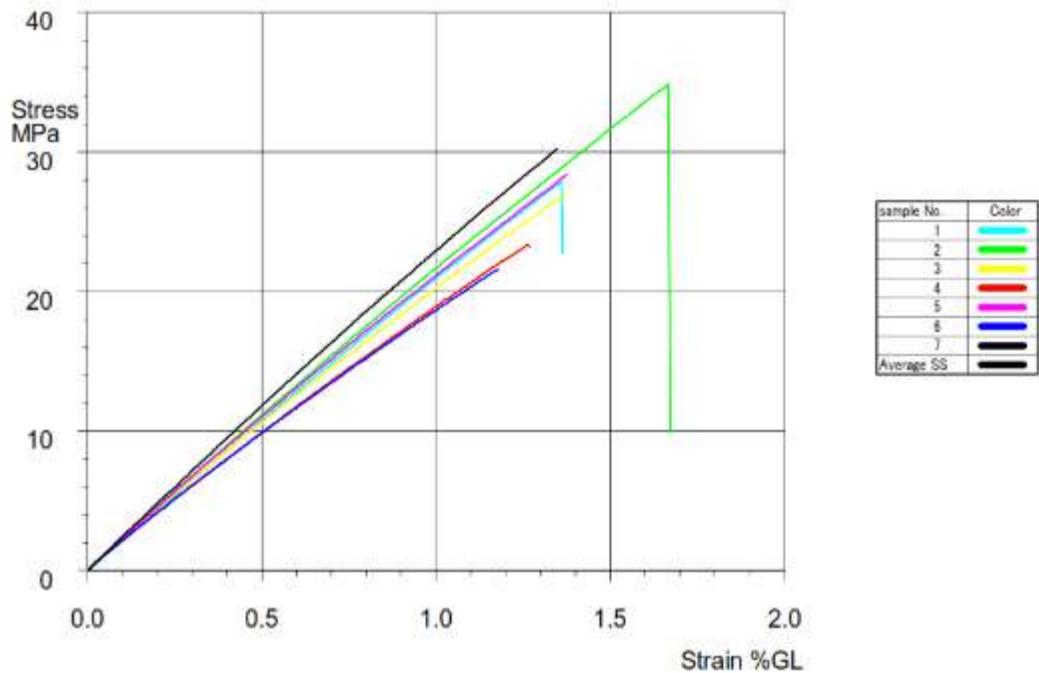
3-point bending testResult

Machine name	RTF			Test type	3-point bending		
Strain input 1	Not used			Test speed	8.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Disp)	0	0	0
	N	0	0		mm	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	100	Initial sample length	Edge spa:	121 mm	
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO	
Elong adjust	No			Break point measurement	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/13	Temperature	22.5 C
Humidity	41 %RH	Sample name	Epoxy 100%
Lot No.	05.B020	Preparation	
Operator	Rian, Rezky, Afid	User	Rahmat
Comment 1		Comment 2	

TestID=717	Width	Height	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu
Test No	mm	mm	N	MPa	MPa
1	27.690	7.1700	361.35	46.073	2058.6
2	27.730	7.4700	326.93	38.348	1522.6
3	28.080	7.5600	267.06	30.203	1920.4
4	27.920	7.1600	298.28	37.824	1410.0
5	28.180	7.5500	303.88	34.336	1530.0
6	28.450	7.2400	397.69	48.401	1798.5
7	27.750	7.0000	334.09	44.594	1795.5
Average	27.971	7.3071	327.04	39.968	1719.4
Standard Deviation(n-1)	0.2809	0.2194	43.164	6.6345	237.30

b) Uji Spesimen Lentur Epoxy 96 % : 4 % TiO₂



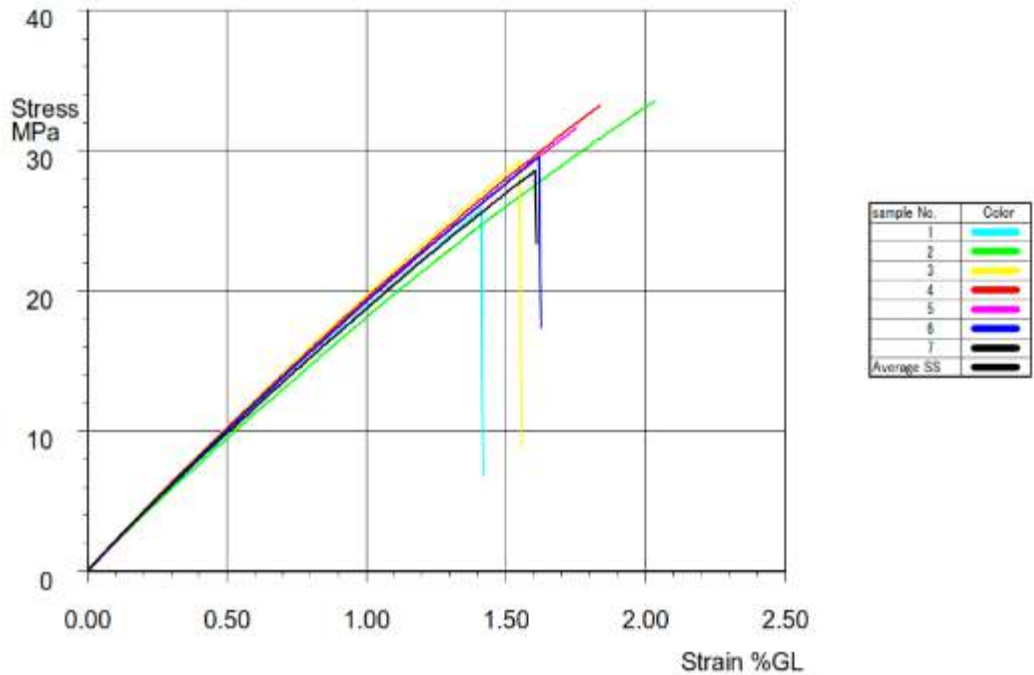
3-point bending testResult

Machine name	RTF			Test type	3-point bending		
Strain input 1	Not used			Test speed	5.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Disp)	0	0	0
	N	0	0		mm	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	100	Initial sample length	Edge spa	121 mm	
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO	
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/13	Temperature	22.5 C
Humidity	41 %RH	Sample name	Epoxy 96% + TiO2 4%
Lot No.	05.B020	Preparation	
Operator	Rian, Rezky, Afid	User	Rahmat
Comment 1		Comment 2	

TestID=718	Width	Height	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu
Test No	mm	mm	N	MPa	MPa
1	28.730	7.8200	269.26	27.816	2081.0
2	28.400	7.4200	299.59	34.775	2214.3
3	28.630	7.6700	250.36	26.979	2102.1
4	28.150	7.7300	216.10	23.318	1998.2
5	28.250	7.5900	254.20	28.350	2261.6
6	28.330	7.7100	199.82	21.536	1987.2
7	28.430	7.4200	260.04	30.153	2380.9
Average	28.417	7.6229	249.91	27.561	2146.5
Standard Deviation(s-1)	0.2043	0.1547	33.204	4.3607	145.12
Max.	28.730	7.8200	299.59	34.775	2380.9

c) Uji Spesimen Lentur Epoxy 92 % : 8 % TiO₂



3-point bending testResult

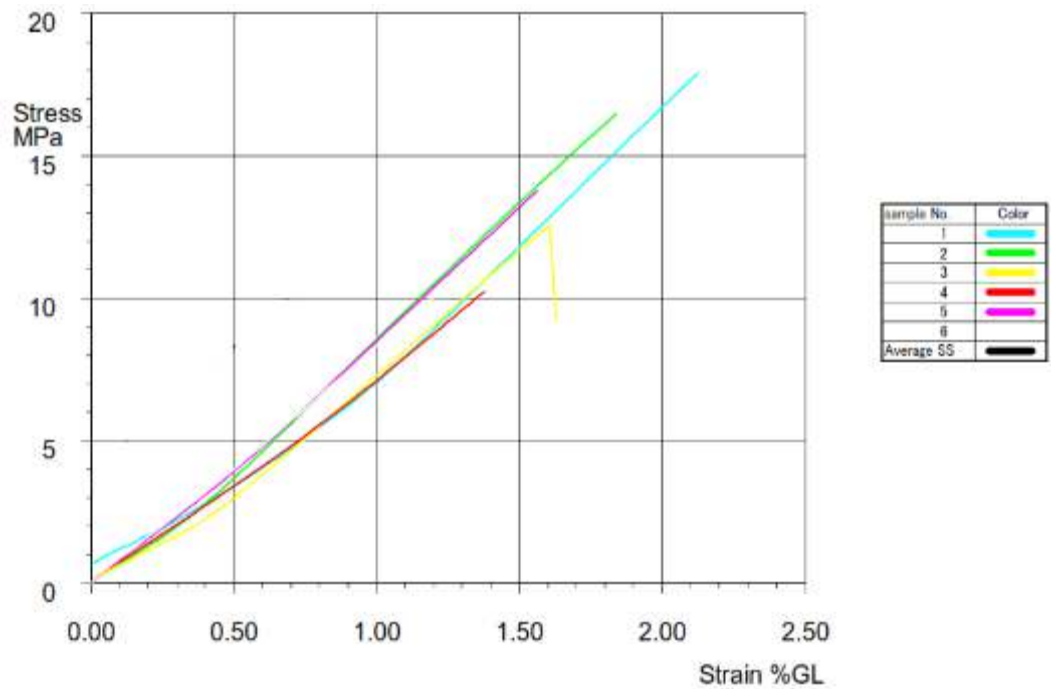
Machine name	RTF		Test type	3-point bending	
Strain input 1	Not used		Test speed	5.0 mm/min	
Chart speed	OFF		Machine rigidity	0 mm/kgf	
Point data(Load)	0	0	Point data(Disp)	0	0
	N	0		0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	Initial sample length	Edge spa	121 mm
Load	Pitch	5 N	Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO
Elong adjust	No		Break point measurem	0.5 N	
Save SS curve	Yes				

Test date	2020/02/13	Temperature	22.5 C
Humidity	41 %RH	Sample name	Epoxy 92% + TiO2 8%
Lot No.	05.B020	Preparation	
Operator	Rian, Rezky, Afid	User	Rahmat
Comment 1		Comment 2	

TestID=720	Width	Height	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu
Test No	mm	mm	N	MPa	MPa
1	27.780	7.2300	205.96	25.743	2047.2
2	28.080	7.0400	256.56	33.459	1967.6
3	27.740	7.1800	229.87	29.175	2069.0
4	28.100	7.1200	260.36	33.173	2093.7
5	27.900	7.0900	244.11	31.591	2101.7
6	28.160	6.9800	223.04	29.506	2096.0
7	27.590	6.8900	205.79	28.517	2074.8
Average	27.907	7.0757	232.24	30.166	2064.3
Standard Deviation(n-1)	0.2144	0.1167	22.373	2.7574	46.643
Max.	28.160	7.2300	260.36	33.459	2101.7

4. Pengujian Geser (*Shear Test*)

a) Uji Spesimen Geser Epoxy 100%



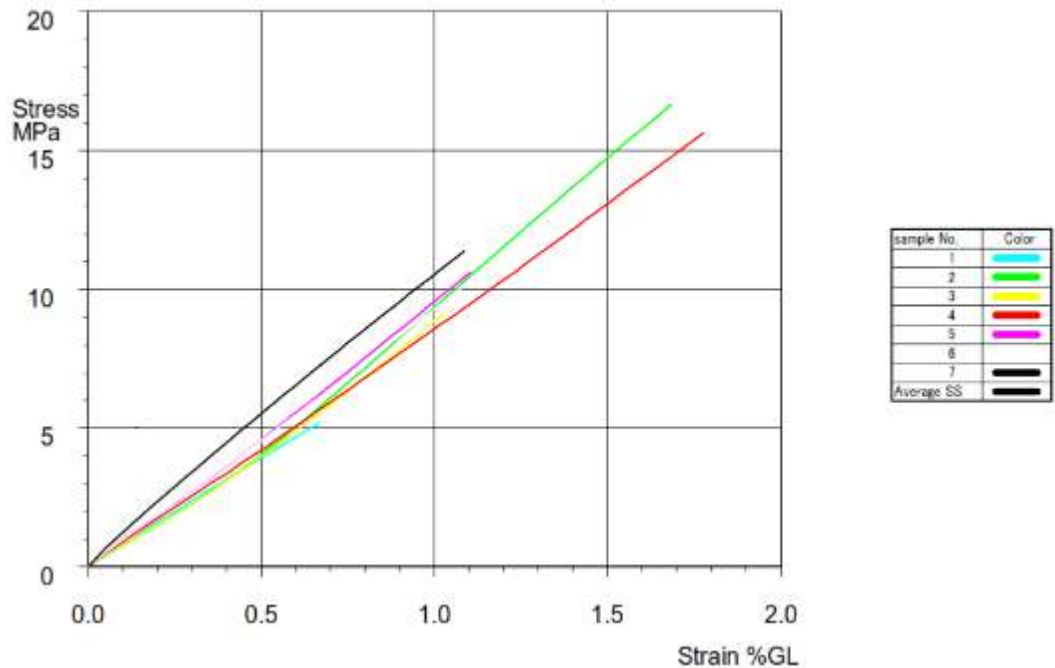
Compression testResult

Machine name	RTF			Test type	Tension Compression		
Strain input 1	Not used			Test speed	2.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Disp)	0	0	0
	N	0	0	mm	0	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	100	Initial sample length	Distance : 10.9943 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO	
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/10			Temperature	22.2 C		
Humidity	44.7 %RH			Sample name	Epoxy + Hardener		
Lot No.	05.S001			Preparation			
Operator	Lathifa			User	Rahmat		
Comment 1	D5379			Comment 2	Rahmat Andalas		

TestID=701	Width	Depth	Sectional ar	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu	Break point Strain
Test No	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	%GL
1	11.480	7.0800	81.278	1452.3	17.868	497.14	1.5537
2	11.240	6.5000	73.060	1202.8	16.463	624.79	1.2695
3	11.230	6.3500	71.311	894.91	12.550	529.05	0.9309
4	10.920	7.4100	80.917	826.62	10.216	632.82	0.8051
5	10.790	7.3600	79.414	1092.0	13.751	734.20	1.0674
6	10.620	7.3200	77.738	896.55	11.533	798.54	0.8795
Average	11.047	7.0033	77.286	1060.9	13.730	636.09	1.0844
Standard Deviation(I)	0.3233	0.4645	4.1815	238.22	2.9383	115.69	0.2823

b) Uji Spesimen Geser Epoxy 96% : 4% TiO₂



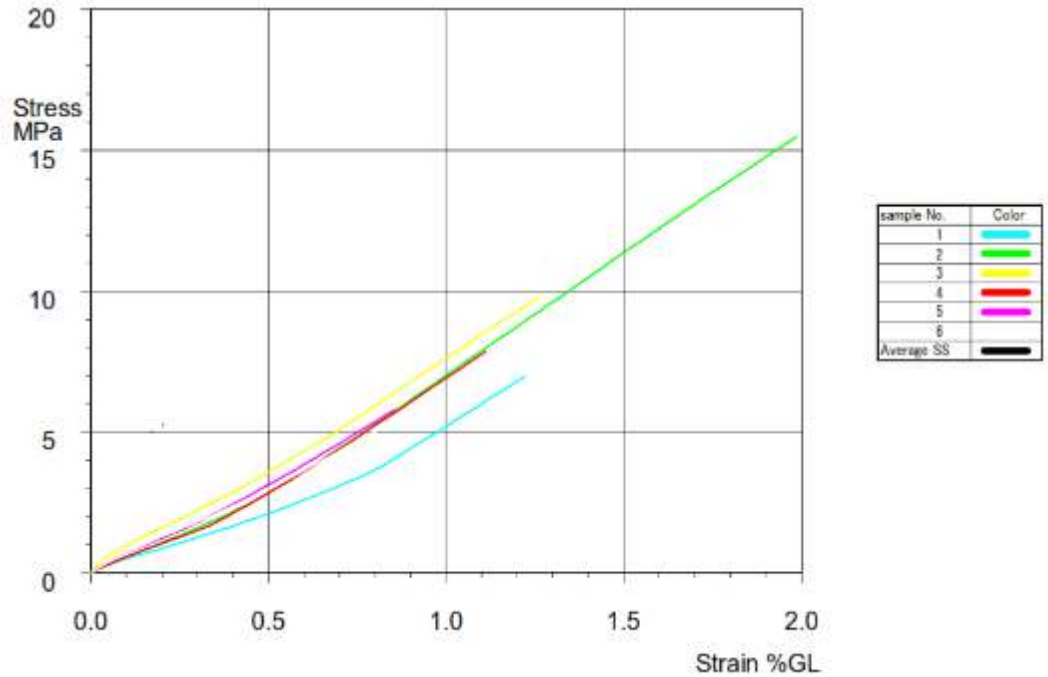
Compression testResult

Machine name	RTF	Test type	Tension Compression
Strain input 1	Not used	Test speed	2.0 mm/min
Chart speed	OFF	Machine rigidity	0 mm/kgf
Point data(Load)	0: 0 0	Point data(Disp)	0 0 0
	N 0: 0 0	mm	0 0 0
Elastic modulus anal.	Interval 1 100	Initial sample length	Distance 10.7014 mm
Load	Pitch 5 N	Origin of elongation	Init. load 0.3 %RO
Elong adjust	No	Break point measurement	0.5 N
Save SS curve	Yes		

Test date	2020/02/10	Temperature	23.2 C
Humidity	45.6 %RH	Sample name	Epoxy 96% + TiO2 4%
Lot No.	05.S011	Preparation	
Operator	Ryan & Rezky	User	Rahmat
Comment 1	D5379	Comment 2	Rahmat Andalas

TestID=702	Width	Depth	Sectional ar	Maximum poin Load	Maximum poin Stress	Elastic modu	Break point Strain
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	MPa	%GL
1	10.530	7.5700	79.712	412.75	5.1780	825.23	0.1805
2	10.630	7.4500	79.194	1315.8	16.616	724.56	1.1915
3	10.630	7.5100	79.831	730.00	9.1442	761.59	0.5422
4	10.890	7.5200	81.893	1278.5	15.612	833.15	1.3397
5	10.850	7.5700	82.135	870.23	10.595	968.54	0.6938
6	10.440	7.4600	77.882	865.47	11.113	939.27	0.7497
7	10.940	7.5400	82.488	935.77	11.344	1239.5	0.7499
Average	10.701	7.5171	80.448	915.51	11.372	898.83	0.7782
Standard Deviation(1)	0.1926	0.0482	1.7402	312.03	3.8616	173.92	0.3890

c) Uji Spesimen Geser Epoxy 92% : 8% TiO₂



Compression testResult

Machine name	RTF			Test type	Tension Compression		
Strain input 1	Not used			Test speed	2.0 mm/min		
Chart speed	OFF			Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Disp)	0	0	0
	N	0	0	mm	0	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	100	Initial sample length	Distance	10.5214 mm	
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Init. load	0.3 %RO	
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2020/02/10		Temperature	24.3 C	
Humidity	42.7 %RH		Sample name	Epoxy 92% + TiO2 8%	
Lot No.	05.S011		Preparation		
Operator	Ryan & Rezky		User	Rahmat	
Comment 1	D5379		Comment 2	Rahmat Andalas	

TestID=703	Width	Depth	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Elastic modu	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load	Stress	MPa	Strain
				N	MPa		%GL
1	10.840	7.5500	81.842	568.88	6.9509	438.61	0.4158
2	10.870	7.6500	83.155	1283.6	15.436	518.39	1.3662
3	9.7500	7.6700	74.783	732.46	9.7945	692.25	0.6967
4	10.420	7.6100	79.296	620.49	7.8250	519.59	0.4649
5	10.310	7.6600	78.975	455.81	5.7716	626.87	0.2332
6	10.880	7.6800	83.558	517.31	6.1910	655.32	0.3611
Average	10.512	7.6367	80.268	696.42	8.6615	575.17	0.5897
Standard Deviation(n-1)	0.4475	0.0489	3.2970	302.68	3.6128	97.740	0.4098