

**PENGARUH PANJANG DAN FRAKSI BERAT *HYBRID* SERAT
BATANG PADI DENGAN *E-GLASS* TERHADAP KEKUATAN
TARIK KOMPOSIT MATRIKS *POLYPROPYLENE***

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi
Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

MOCH. ALI ROCHMAN
NIM. 0210620079-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2007**

repository.ub.ac

**PENGARUH PANJANG DAN FRAKSI BERAT *HYBRID* SERAT
BATANG PADI DENGAN *E-GLASS* TERHADAP KEKUATAN
TARIK KOMPOSIT MATRIKS *POLYPROPYLENE***

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Disusun oleh:

**MOCH. ALI ROCHMAN
NIM. 0210620079-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Bardji Hadi Pranoto
NIP. 130 935 803**

**Moch. Syamsul Ma'arif, ST. MT
NIP. 132 288 243**

**PENGARUH PANJANG DAN FRAKSI BERAT *HYBRID* SERAT
BATANG PADI DENGAN *E-GLASS* TERHADAP KEKUATAN
TARIK KOMPOSIT MATRIKS *POLYPROPYLENE***

Disusun oleh :

MOCH. ALI ROCHMAN
NIM. 0210620079-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 23 Agustus 2007

Dosen Penguji,

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Ir. Wahyono S, MT.Met
NIP. 131 574 846

Ir. Bambang I, MT
NIP. 131 653 469

Penguji Komprehensif

Ir. Abdul Hadi Djaelani
NIP. 130 518 942

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat, rahmat serta hidayahnya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Panjang dan Fraksi Berat Hybrid Serat Batang Padi dengan E-glass Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Matriks Polypropylene**” dapat terselesaikan.

Dalam rangka penyusunan skripsi ini, penulis tidak dapat terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT selaku Ketua Jurusan dan Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Bardji Hadi Pranoto dan Bapak Moch. Syamsul Ma'arif, ST. MT selaku dosen pembimbing.
4. Bapak Ir. Winarno Y.A , MT selalu Ketua Lab. Pengecoran Logam dan Bapak Ir. Erwin Sulistyو selaku Ketua Laboratorium Pengujian Bahan.
5. Ibu, Bapak dan Saudara-saudaraku.
6. Mas Suhastomo selaku Laboran Laboratorium Pengujian Bahan, Mas Gatot selaku Laboran Lab. Pengecoran Logam, dan Mas Rofik selaku Laboran Lab. Pengujian Bahan Poltek Malang yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini.
7. Temanku Atak Hidayat, Fandi, Muchlasin, dan semua teman-teman serta asisten Laboratorium Pengujian Bahan dan Laboratorium Pengecoran yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari walaupun telah berusaha dengan sebaik-baiknya dalam penyusunan skripsi ini pasti skripsi ini jauh dari sempurna. Maka dengan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menuju kesempurnaan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan berbagai pihak yang akan mengembangkan skripsi ini.

Malang, 3 Agustus 2007

Penyusun

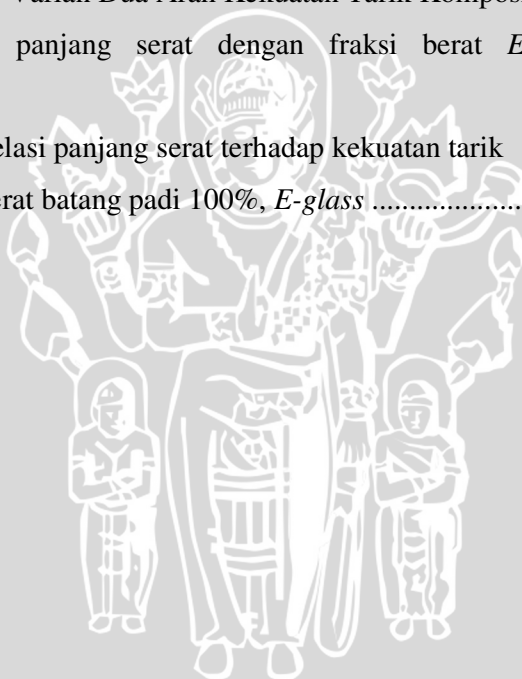
DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
 BAB I. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan	4
2.2 Polimer	5
2.2.1 Pengertian Polimer	5
2.2.2 Klasifikasi Polimer	5
2.3 Komposit	8
2.3.1 Pengertian Material Komposit	8
2.3.2 Klasifikasi Material Komposit	9
2.3.3 Komposit <i>Hybrid</i>	11
2.4 Serat Penguat (<i>fiber reinforcement</i>)	12
2.4.1 Serat Sintetik Organik	12
2.4.2 Serat Sintetik Non Organik	13
2.4.3 Serat Organik (<i>Natural fibre</i>)	14
2.5 Metode Pembuatan Komposit	15
2.5.1 <i>Injection Molding</i>	15
2.5.2 Mesin <i>Injection Molding</i>	16
2.6 Sifat Komposit	17
2.7 Teori Ikatan Matriks dan Serat Penguat	19
2.8 Kekuatan Tarik untuk <i>Discontinuous Short Fibre Composites</i>	20
2.9 Hubungan Fraksi Berat dengan Fraksi Volume	22
2.10 Hipotesis	23
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	 24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Variabel Penelitian	24
3.2.1 Variabel Bebas	24
3.2.2 Variabel Terikat	24
3.2.3 Parameter Terkendali	24
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan	24
3.4.1 Alat yang Digunakan	24
3.4.2 Bahan yang Digunakan	25

3.5	Prosedur Penelitian.....	26
3.5.1	Perlakuan Serat Batang Padi	26
3.5.2	Perlakuan Serat <i>E-glass</i>	26
3.5.3	Pembuatan Spesimen Komposit	26
3.6	Metode Pengujian Kekuatan Tarik Komposit.....	26
3.6.1	Prosedur Pengujian Tarik.....	26
3.6.2	Dimensi Spesimen	27
3.7	Rancangan Penelitian	28
3.7.1	Analisa Varian Dua Arah.....	28
3.7.2	Analisa Regresi.....	30
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB IV.	ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Data Pengujian Tarik Komposit.....	33
4.2	Analisis Data.....	33
4.2.1	Analisis Varian Dua Arah	33
4.2.2	Analisis Regresi.....	35
4.3	Pembahasan.....	38
4.3.1	Analisis Hubungan antara Panjang Serat Filler dengan Kekuatan Tarik Komposit	38
4.3.2	Analisis Hubungan antara Fraksi Berat Hybrid E-Glass dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit	39
4.3.3	Analisis Hubungan Interaksi Panjang Serat dan Fraksi Berat Hybrid E-Glass dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit	40
4.3.4	Foto Makrostruktur Patahan Komposit.....	42
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN.....		47

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Aplikasi komposit termoplastik	8
Tabel 2.2	Perbedaan antara serat <i>E-glass</i> dengan serat batang padi.....	12
Table 2.3	Komposisi dan properties dari serat gelas	13
Tabel 3.1	Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik.....	27
Tabel 3.2	Rancangan Penelitian Hasil Uji Tarik.....	28
Tabel 3.3.	Tabel Analisis Varian Dua Arah.....	30
Tabel 4.1	Data Pengujian Kekuatan Tarik Komposit (satuan dalam N/mm^2).....	33
Tabel 4.2	Tabel Analisis Varian Dua Arah Kekuatan Tarik Komposit.....	35
Tabel 4.3	Pengaruh panjang serat dengan fraksi berat <i>E-glass</i> -batang padi 0%:100%..	36
Tabel 4.4	Koefisien korelasi panjang serat terhadap kekuatan tarik pada fraksi berat batang padi 100%, <i>E-glass</i>	36

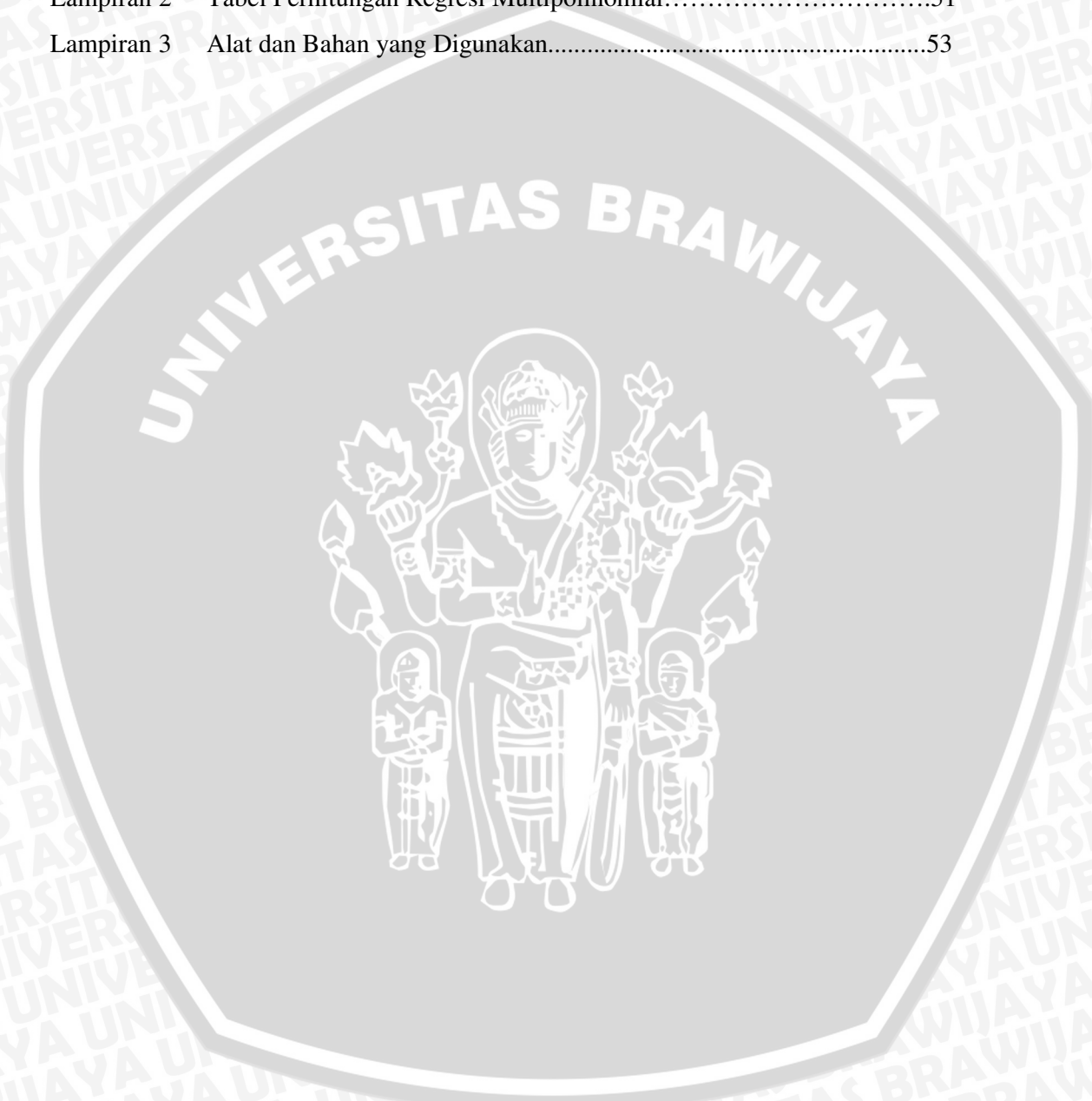


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Reaksi pembuatan polipropilen.....	6
Gambar 2.2	Skema Penyusunan <i>filler</i> (a)Partikel acak,(b)Serat Pendek tidak Kontinyu, (c)Serat Acak tidak Kontinyu, dan (d)Serat Panjang Kontinyu	10
Gambar 2.3	Komposit Partikel.....	11
Gambar 2.4	Bagian-bagian Padi	15
Gambar 2.5	Bagian-Bagian Mesin <i>Injection Moulding</i>	16
Gambar 2.6	Tegangan–Regangan Matrik, Komposit dan <i>Fiber (Filler)</i>	17
Gambar 2.7	Grafik Tegangan-Regangan Berbagai jenis Polimer.....	18
Gambar 2.8	<i>Mechanical Bonding</i>	19
Gambar 2.9	<i>Reaction Bonding</i>	19
Gambar 2.10	<i>Electrostatic Bonding</i>	20
Gambar 2.11	Pengaruh deformasi pada regangan di sekitar serat.(a)serat <i>continuous</i> ;(b)serat <i>discontinuous</i> (serat pendek).....	21
Gambar 3.1	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik	27
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit	38
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Fraksi Berat <i>Hybrid E-Glass</i> dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit	40
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Interaksi Panjang Serat dan Fraksi Berat <i>Hybrid E-Glass</i> dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit.	41
Gambar 4.4	Patahan Spesimen Uji Tarik Panjang Serat 1mm, Fraksi <i>hybrid E-glass</i> dengan batang padi (a) 0%:100%, (b) 25%:75%, (c) 50%:50%, (d) 75%:25%, (e) 100%:0%	42
Gambar 4.5	Patahan Spesimen Uji Tarik Panjang Serat 3mm, Fraksi <i>hybrid E-glass</i> dengan batang padi (a) 0%:100%, (b) 25%:75%, (c) 50%:50%, (d) 75%:25%, (e) 100%:0%	42
Gambar 4.6	Patahan Spesimen Uji Tarik Panjang Serat 5mm, Fraksi <i>hybrid E-glass</i> dengan batang padi (a) 0%:100%, (b) 25%:75%, (c) 50%:50%, (d) 75%:25%, (e) 100%:0%.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	
Lampiran 1	Data Hasil Pengujian Tarik.....	47
Lampiran 2	Tabel Perhitungan Regresi Multipolinomial.....	51
Lampiran 3	Alat dan Bahan yang Digunakan.....	53



RINGKASAN

MOCH. ALI ROCHMAN, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh Panjang dan Fraksi Berat Hybrid Serat Batang Padi dengan E-glass Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Matriks Polypropylene*, Dosen Pembimbing : Ir. Bardji Hadi Pranoto dan Moch. Syamsul Ma'arif, ST. MT.

Polimer saat ini merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di bidang perindustrian maupun rumah tangga. Banyaknya penggunaan polimer disebabkan keunggulannya dalam proses pembentukannya yang mudah dan berat jenisnya yang jauh lebih ringan dari logam, meskipun sifat mekanis polimer termoplastik lebih rendah dari logam. Untuk meningkatkan kemampuan mekanis dari polimer tersebut, dikembangkanlah teknologi komposit polimer yang menggunakan material organik maupun nonorganik dalam bentuk partikel atau serat sebagai penguat polimer.

Polypropylene (PP) merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang banyak digunakan serta memiliki berat jenis yang ringan. Batang padi merupakan limbah utama hasil pertanian beras. Selama ini pemanfaatan batang padi yang dihasilkan masih terbatas untuk makanan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, dan lebih banyak dibakar sehingga menyebabkan polusi udara. Serat *E-glass* merupakan salah satu jenis serat kaca yang paling sering digunakan dalam industri maupun pembuatan komposit, hal tersebut disebabkan oleh kekuatan tariknya yang cukup tinggi dan harganya yang lebih murah dibanding serat kaca jenis lain.

Dengan adanya teknologi material komposit dapat dijadikan alternatif untuk memanfaatkan limbah batang padi sebagai serat penguat komposit dalam matriks *polypropylene*. Saat ini banyak dikembangkan material komposit yang diperkuat oleh serat alami maupun dengan serat sintetis dalam matriks polimer termoplastik dengan tujuan utama untuk meningkatkan kekuatan mekanis dari polimer termoplastik.

Dari beberapa hal tersebut, maka diperlukan penelitian tentang material komposit yang menggunakan batang padi dengan serat *E-glass* sebagai material penguat, dan matriks *polypropylene* terhadap kekuatan tarik komposit.

Dari hasil penelitian dan pembahasan didapatkan kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan sejalan dengan penambahan panjang serat penguat komposit hingga panjang serat 5 mm. Perubahan fraksi berat dari campuran serat *E-glass* dengan batang padi mampu meningkatkan kekuatan komposit, dimana dengan semakin banyak kandungan *E-glass* dibanding batang padi maka kekuatan komposit akan semakin meningkat. Kekuatan tarik komposit rata-rata tertinggi dicapai dengan mencampur *E-glass* dengan batang padi dengan perbandingan 100%:0% serta panjang seratnya 5mm didapat kekuatan sebesar 50,762 N/mm².

Kata kunci : Polimer, Komposit, *Polypropylene*, Batang Padi, Serat *E-glass*, Kekuatan Tarik.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer saat ini merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di bidang perindustrian maupun rumah tangga. Banyaknya penggunaan polimer disebabkan keunggulannya dalam proses pembentukannya yang mudah dan berat jenisnya yang jauh lebih ringan dari logam, meskipun sifat mekanis polimer termoplastik lebih rendah dari logam. Untuk meningkatkan kemampuan mekanis dari polimer, saat ini banyak dikembangkan polimer komposit yang menggunakan material organik maupun nonorganik dalam bentuk partikel atau serat sebagai penguat polimer.

Penggunaan serat nonorganik seperti serat kaca maupun alumina mempunyai keuntungan seperti menambah kekuatan, kekakuan, maupun ketahanan air dari material komposit. Serat kaca yang sering digunakan adalah serat *E-glass*, dimana serat ini mempunyai kekuatan tarik hingga 2 GPa dan harganya yang lebih murah dibanding tipe lainnya (Andre, Alan. 2006). Selain serat nonorganik yang sering dipakai, juga dikembangkan penggunaan serat organik yang berasal dari tumbuhan. Penggunaan serat tumbuhan memiliki keuntungan seperti harganya yang murah, tidak mengganggu kesehatan, dan mampu didaur ulang. Padi merupakan salah satu tumbuhan berserat yang bisa dimanfaatkan mulai dari batang hingga sekamnya, dan ketersediaannya di Indonesia cukup melimpah. Pemanfaatan batang padi saat ini masih belum maksimal, karena masih banyak para petani yang membakar batang padi setelah panen, dimana hal tersebut menyebabkan polusi udara.

Penggunaan dua atau beberapa jenis serat yang berbeda pada komposit *hybrid*, mempunyai keuntungan dimana satu dari jenis serat akan menutupi kekurangan serat yang lain. Seperti penggunaan penguat dari serat organik yang ketahanan airnya rendah, kelemahan tersebut dapat diperbaiki dengan menambahkan serat kaca. Maupun penggunaan serat kaca yang densitasnya lebih berat dari serat organik. (Thwe, Liao. 2001).

Serat padi maupun serat kaca sebagai *filler* yang ditambahkan kedalam polimer akan memberikan pengaruh tertentu pada material komposit, baik itu pada sifat mekanis maupun sifat fisiknya. Sifat mekanis seperti kekuatan tarik berhubungan dengan ketahanan material komposit terhadap pembebanan. Dari alasan-alasan diatas perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan serat batang padi dan serat kaca/*E-glass*

sebagai material penguat matrik polipropilen. Sehingga dalam penelitian ini variabel yang diteliti meliputi pengaruh panjang serat dan fraksi berat *hybrid* serat batang padi dengan serat *E-glass* pada matrik komposit polipropilen terhadap kekuatan tarikannya.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar Belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

Bagaimanakah pengaruh panjang serat dan fraksi berat *hybrid* serat batang padi dengan serat *E-glass* pada matrik komposit polipropilen terhadap kekuatan tarikannya?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Serat organik yang digunakan berasal dari batang padi, sedangkan serat anorganik berasal dari *E-glass*.
2. Polimer termoplastik yang digunakan sebagai matrik adalah *polypropylene*.
3. Perbandingan material penguat serat batang padi dengan serat *E-glass* menggunakan fraksi berat.
4. Di dalam komposit serat tersusun secara random/acak.

I.4 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh panjang serat dan fraksi berat *hybrid* serat batang padi dengan serat *E-glass* pada matrik komposit polipropilen terhadap kekuatan tarikannya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan plastik sebagai matriks dalam komposit memberikan nilai guna lebih dengan menjadikan sebagai bahan baku material baru.
2. Memberikan hasil penelitian dalam bidang rekayasa material khususnya material komposit.
3. Pemanfaatan limbah pertanian seperti batang padi dapat menambah nilai jual dan nilai gunanya.
4. Mengetahui perbedaan penggunaan serat organik dengan serat anorganik maupun campurannya terhadap sifat komposit polipropilen.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat yang dapat diberikan dari hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memberikan penjelasan tentang material komposit dan diharapkan dapat melandasi penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menerangkan rancangan penelitian yang akan dilakukan untuk memperoleh data dan cara perhitungan statistik untuk mengolah data yang diperoleh dari penelitian.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Merupakan uraian dari data yang berkaitan dengan hasil penelitian dan dibahas berdasarkan landasan teori yang ada. Pembahasan ini merupakan gabungan antara kajian teori dan fakta dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan hasil ringkasan dari proses penelitian yang dilakukan dan mencakup seluruh hasil penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Karmaker (1996), yang melakukan penelitian dengan judul "*Injection Moulding of Polypropylene Reinforced with Short Jute Fibers*". Penelitian dilakukan dengan menambah matrik polipropilen dengan serat *jute*. Penelitian ini menggunakan variabel bebas fraksi berat serat *jute* dengan matrik polipropilen 50%:50%, dan yang lain ditambah MAPP (*maleated anhydride polypropylene*) 50%:47%:3%, dengan variabel terikatnya adalah kekuatan tarik dan bending. Hasil penelitian dengan penambahan serat *jute* dan MAPP ternyata mampu meningkatkan kekuatan bending matrik polipropilen murni yang hanya 31,33 MPa menjadi 87,66 MPa, kekuatan tarik dari 27,76 MPa menjadi 59,13 MPa.

Thwe, Liao (2001), melakukan penelitian dengan judul "*Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glassfiber reinforced polymer matrix hybrid composites*". Salah satu hasil dari penelitian tersebut adalah kekuatan tarik dari material komposit dipengaruhi oleh fraksi berat dari *filler* yang ditambahkan kedalam matrik. Kekuatan tarik tertinggi didapat melalui penambahan matrik polipropilen dengan bambu, dengan perbandingan fraksi berat 70%:30%. Penambahan fraksi berat bambu hingga 40% ternyata menurunkan kekuatan tarik komposit hingga 16%. Penurunan kekuatan tersebut disebabkan ikatan yang buruk antara filler dengan matrik.

Penggunaan komposit *hybrid* yang mengandung dua atau beberapa jenis serat yang berbeda, mempunyai keuntungan dimana satu dari jenis serat akan menutupi kekurangan serat yang lain. Seperti penggunaan penguat dari serat organik yang ketahanan airnya relatif rendah, kelemahan tersebut dapat diperbaiki dengan menambahkan serat kaca. Begitu pula dengan kekuatan mekanisnya seperti kekuatan tarik, dengan menggunakan 30% serat bambu 0% serat kaca pada matrik polipropilen memiliki kekuatan tarik 15 MPa, dan bila fraksi serat kaca ditingkatkan hingga 20%: serat bambu 10% mampu meningkatkan kekuatan tarik hingga 19 MPa. Peningkatan kekuatan tersebut diakibatkan kekuatan serat kaca yang lebih tinggi dari serat bambu, untuk serat kaca tipe E (*electrical*) kekuatan tariknya mampu mencapai 2,2 GPa (Thwe, Liao, 2001).

2.2 Polimer

2.2.1 Pengertian Polimer

Pengertian polimer adalah molekul raksasa (makromolekul) yang tersusun dari struktur ulangan kecil dari satuan kimia sederhana. Struktur ulangan tersebut berbentuk linear seperti deretan batang, bentuk lainnya berupa percabangan yang saling bersambungan. Satuan kimia sederhana polimer memiliki komposisi yang mirip monomer, seperti struktur ulangan dari poly(vinyl chloride) — CH_2CHCl — terbentuk dari monomer vinyl chloride $\text{CH}_2=\text{CHCl}$. (Billmeyer, 1984:3)

2.2.2 Klasifikasi Polimer

Secara umum, polimer dibedakan menjadi 3 macam berdasarkan klasifikasi jenisnya, yaitu termoplastik, termoset, dan karet:

A. Karet

Karet banyak digunakan karena memiliki sifat tahanan listrik yang baik, tahan korosi, mampu cetak yang baik, bersifat lentur, dan harganya yang murah. Macam karet yang sering digunakan adalah karet alam dan karet butadien. Karet alam baik dalam kekenyalan, tinggi kekuatan tariknya, dan massa jenisnya hanya $0,91 \div 0,93 \text{ g/cm}^3$. bahan ini digunakan untuk ban mobil, pengemas karet, penutup isolasi listrik, sol sepatu dan lain-lainnya. Karet butadien lebih banyak digunakan dibandingkan dengan karet alam untuk pengemas tahan panas, ban mobil, ban mesin, kabel frekuensi tinggi, kabel tahan panas dan dingin, maupun selang tahan minyak (Surdia, 1995:239-241)

B. Termoset

Termoset merupakan salah satu jenis resin plastik yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat. Resin ini memiliki rantai-rantai molekul yang saling berhubungan sehingga walaupun mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif. Resin dalam keadaan cair akan mengeras bersamaan dengan terbentuknya suatu jaringan ikatan rantai monomer sehingga akan bersifat stabil. Oleh karena itu resin termoset tidak dapat dipanaskan dan dicairkan ulang seperti pada resin termoplastik.

Macam-macam termoset yang sering digunakan seperti:

1. Epoksi

Resin ini banyak digunakan untuk aplikasi rekayasa karena memiliki sifat-sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan resin lainnya, antara lain kekuatan tarik serta kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap bahan kimia, ketahanan termal yang tinggi, dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu. Memiliki

densitas $1,05 \div 1,35 \text{ g/cm}^3$, kekuatan tarik mampu mencapai 130 MPa dengan modulus elastisitas mencapai 4,5 GPa. (Schaffer, 1999:588).

2. Poliester

Poliester merupakan resin cair yang mudah dibentuk dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengerasan. Bahan ini dikembangkan secara luas sebagai plastik dengan penguat serat khususnya pada industri pesawat terbang, komponen otomotif, konstruksi bangunan, dan perkapalan. Poliester memiliki ketahanan panas, kimia, kelembaban dan sinar U.V yang baik. Resin poliester ini dapat diproses dalam beberapa metode, namun pada umumnya di proses dengan metode *open handy lay-up* dan metode *spray-up* khususnya untuk volume material yang kecil. Waktu pengerasan resin ini dapat terjadi pada temperatur ruang atau tanpa dipengaruhi tekanan. Memiliki densitas $1,12 \div 1,46 \text{ g/cm}^3$, kekuatan tarik mampu mencapai 70 MPa dengan modulus elastisitas mencapai 4,4 GPa. (Schaffer, 1999:588).

3. Resin Fenol

Resin ini merupakan jenis termoset pertama yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Memiliki sifat ketahanan kimia yang baik, kestabilan dimensi yang baik, rambatan patahan yang lambat, dan emisi racun yang rendah pada saat terbakar. Material ini banyak digunakan sebagai sistem jaringan telepon, sedangkan pada otomotif digunakan sebagai komponen rem.

C. Termoplastik

Plastik ini mempunyai ikatan linear antara monomer-monomer penyusunnya. Termoplastik membutuhkan panas untuk dapat dibentuk. Termoplastik mempunyai sifat isolator yang baik, mudah dibentuk (proses), dan tahan terhadap korosi yang sangat baik. Macam termoplastik yang banyak digunakan antara lain :

1. Polietilen

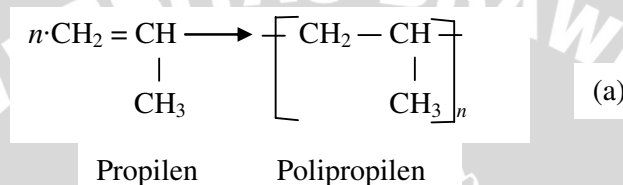
Polietilen diperoleh dengan cara polimerisasi gas *ethylene*, Karena sifat-sifatnya erat dengan hubungannya dengan massa jenis maka polietilen digolongkan menjadi *Low Density Polyethylene (LDPE)* yang mempunyai massa jenis $0,910 \div 0,926 \text{ g/cm}^3$, *Medium Density Polyethylene (MDPE)* dengan massa jenis $0,926 \div 0,940 \text{ g/cm}^3$ dan *High Density Polyethylene (HDPE)* yang mempunyai massa jenis $0,941 \div 0,965 \text{ g/cm}^3$. Aplikasi Polietilen secara luas digunakan sebagai isolator kabel listrik, berbagai tempat makanan, botol, dan kantong tempat sampah.

2. Nylon

Nylon mempunyai ketahanan terhadap reaksi kimia dan titik lelehnya 260°C. Merupakan plastik berstruktur kristalin, tangguh dan memiliki sifat listrik yang baik tetapi memiliki kestabilan dimensi yang rendah dibandingkan dengan jenis resin yang lain. Memiliki kekuatan tarik mencapai 66 MPa dengan modulus elastisitas mencapai 2,6 GPa. (Carter, 1991:272). Aplikasi nylon digunakan dalam industri seperti sirip kipas, tali, *gear*, dan *bearing*.

3. Polipropilen

Polipropilen didapat dengan menguraikan hasil pengolahan petroleum (naftan) dengan cara polimerisasi.



Gambar 2.1 Reaksi pembuatan polipropilen

Sumber : Tata Surdia, 1995:212

Sifat-sifat polipropilen serupa dengan sifat polietilen. Dengan masa jenis 0,92 g/cm³, termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer. Dapat terbakar kalau dinyalakan. Sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekakuannya lebih tinggi dari polietilen, dan masih mampu ditingkatkan hingga batas tertentu dengan menambahkan *filler*. Sifat mampu cetaknya yang baik dimana faktor penyusutan cetakan kecil, sehingga dapat diperoleh produk dengan ketelitian dimensi yang baik. (Surdia, 1995:212)

Karakteristik *Polypropylene* (en.wikipedia.org/polypropylene/properties):

1. *Chemical name* : *poly(1-methylethylene)*
2. *Synonyms* : *Polypropylene; Polypropene; Polipropene* 25;
Propenepolymers; 1-Propene homopolymer
3. *Chemical formula* : (C₃H₆)_x
4. *Monomer* : *Propylene*
5. *Density* : 0,928 g/cm³
6. *Tensile Strength* : 3,3÷4,2 (kgf/mm²)
7. *Elastic Modulus* : (1,1÷1,4). 10² kgf/mm²
8. *Bending Srength* : 4,2÷5,6 (kgf/mm²)
9. *Melting point* : 173 °C

Polipropilen digunakan diberbagai aplikasi seperti bahan dalam produksi peralatan meja makan, keranjang, peralatan kamar mandi, keperluan rumah tangga, mainan, peralatan listrik, tekstil, peralatan laboratorium, komponen otomotif, berbagai macam botol, dan lain sebagainya. (Surdia, 1995:213).

Polipropilen juga dapat dipergunakan sebagai matriks pengikat dalam material komposit, dimana aplikasinya dalam berbagai sektor dapat dilihat dari tabel 2.1.

Tabel 2.1 Aplikasi komposit termoplastik

Sl. No	Sektor	Aplikasi
1	Bangunan dan Konstruksi	<i>Window frames & components, Cladding – exterior horizontal & vertical, Door frames & components, Ducting, Roofline products, Shingles (roof tiles.)</i>
2	Interior/Internal finishes	<i>Interior panels, Decorative profiles, Office furniture, Kitchen cabinets, Worktops, Blinds/ shutters, boards, railings.</i>
3	Otomotif	<i>Door & head liners, Ducting, Interior panels, Rear shelves, Truck floors.</i>
4	Pertamanan dan Outdoor	<i>Decking, Fencing & fence posts, Garden furniture, shelters & sheds, Park benches, Playground equipment, Play ground surfaces.</i>
5	Industri/ Infrastruktur	<i>Industrial flooring, Railings, Railway sleepers.</i>

Sumber www.tifac.org.in/news/news.htm.

2.3 Komposit

2.3.1 Pengertian Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara 2 material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat (disebut dengan matriks) untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Matriknya dapat berupa keramik, logam, dan juga polimer. (Gibson, 1994)

Beberapa sifat yang dapat diperbaiki dengan dibuatnya komposit antara lain (Jones, 1999 : 2) :

- kekuatan
- kekakuan
- ketahanan korosi
- konduktivitas termal
- ketahanan *fatigue*
- *thermal insulation*

- ketahanan aus
- *accoustical insulation*
- berat material

2.3.2 Klasifikasi Material Komposit

Secara garis besar komposit dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam (Jones, 1999 : 2), yaitu:

- *Laminated composite materials*
- *Particulate composite materials*
- *Fibrous composite materials*
- Kombinasi dari ketiga tipe di atas

A. Komposit Berlapis (*Laminate Composite*)

Komposit ini terdiri dari sekurang-kurangnya dua bahan berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses pelapisan dilakukan dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan yang berguna. Komposit berlapis dibentuk dari beberapa lapisan lamina dengan berbagai macam penyusunan arah serat yang telah ditentukan yang disebut laminat. Hasil dari lapisan komposit tersebut dapat berupa (Sulistiyono, 2006:8):

- ***Clad Metal***, merupakan gabungan dari dua bahan untuk mendapatkan sifat yang lebih baik, contohnya pada pelapisan aluminium pada kekuatan tinggi yang korosif dengan aluminium yang tahan korosi.
- ***Laminated Glass***, merupakan konsep perlindungan sebuah material dengan material lain seperti *clad metal* pada gelas. Contohnya seperti pembuatan lapisan plastik Polivinil butynol yang mempunyai sifat ulet (memiliki regangan tinggi tanpa terdapat pecahan) dan fleksibel, yang diletakkan di antara dua lapisan gelas. Gelas tersebut mempunyai kekuatan yang baik dan berfungsi untuk melindungi plastik dari goresan.
- ***Plastic Based Laminated***, contohnya seperti produk yang terbuat dari lapisan kertas *heavy craft* yang diresapi seluruhnya dengan resin fenol, lalu ditutup oleh plastik. Pemanasan dan penekanan dilakukan untuk mengikat lapisan-lapisan tersebut secara bersama-sama.
- ***Laminates Fiber Composites***, berupa teknik pelapisan lamina-lamina dengan berbagai arah serat yang telah ditentukan untuk mendapatkan kekuatan dan kekakuan yang berbeda pada berbagai arah gaya. Dengan demikian kekuatan dan

kekakuan komponen dapat dibentuk tergantung keperluan desain spesifik dari struktur elemen yang dibentuk.

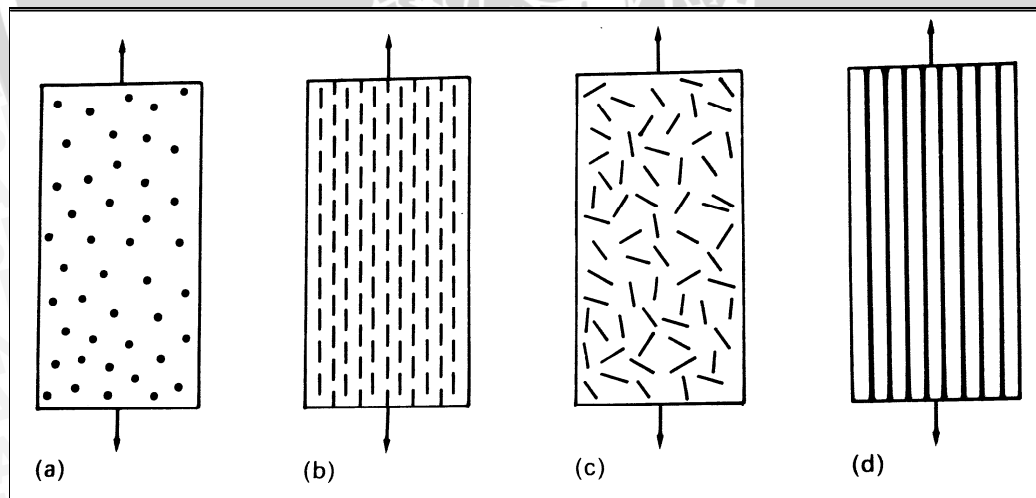
B. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)

Material komposit serat terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat. Matriks berfungsi sebagai perekat serat, melindungi serat dari kerusakan eksternal, dan sebagai pendistribusi beban yang dikenakan pada material komposit ke serat. Serat sendiri berfungsi sebagai penguat matriks (*reinforcement*).

Di dalam pembuatan komposit, serat dapat disusun dengan berbagai macam cara untuk menentukan sifat mekaniknya, dan dapat pula menentukan kemudahan proses pembuatan material komposit. Terdapat tiga skema penyusunan serat pada material komposit serat (Anderson, 1990 : 328), yaitu :

- *Continuous fibres, unidirectional*
- *Discontinuous fibres, unidirectional*
- *Discontinuous fibres, random*

Serat kontinyu adalah serat yang digunakan sama panjang dengan panjang material komposit yang akan dibuat. Serat pendek tidak kontinyu diatur sedemikian rupa sehingga memiliki arah orientasi serat yang sama. Sedangkan serat acak tidak kontinyu adalah serat pendek yang tersusun secara acak dalam keadaan dua dimensi atau tiga dimensi dengan cara di *mixing* sehingga komposit dianggap homogen, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Penyusunan *filler* (a)Partikel acak,(b)Serat Pendek tidak Kontinyu, (c)Serat Acak tidak Kontinyu, dan (d)Serat Panjang Kontinyu

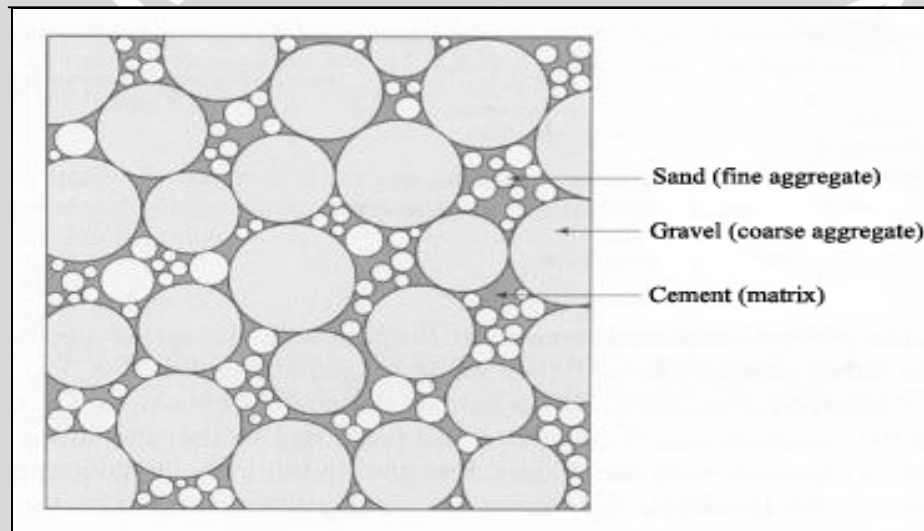
Sumber : Matthews and Rawling, 1994 : 8

Keuntungan dari penggunaan komposit serat dengan matriks polimer antara lain:

1. Mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih baik dari matriksnya.
2. Mudah dibentuk dengan hasil permukaan yang baik.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Mempunyai densitas yang ringan (perpaduan matrik dengan *filler*).

C. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit jenis ini menggunakan partikel atau butiran sebagai penguat. Partikel yang digunakan pada material komposit bertujuan untuk meningkatkan ketahanan gesek, kekerasan bahan, atau untuk mengurangi biaya produksi. Penggunaan komposit partikel dapat dilihat pada ban kendaraan yang tersusun dari karbon hitam sebagai penguat dan karet sebagai pengikat. Ataupun seperti gambar 2.3 tentang komposit semen dengan butiran pengisi pasir dan batu.



Gambar 2.3 Komposit Partikel
Sumber : Schaffer, James. 1999 : 579

2.3.3 Komposit Hybrid

Komposit *hybrid* merupakan perpaduan dari 2 atau lebih material pengisi (penguat) yang memiliki karakteristik berbeda dalam matriks komposit. Pemilihan karakteristik yang berbeda tersebut bertujuan agar kelebihan yang dimiliki masing-masing material pengisi mampu menutupi kekurangan masing-masing material yang lain. Seperti pada penelitian ini, penggunaan material serat *E-glass* dan serat batang padi pada matrik komposit polipropilen agar dapat menutupi kekurangannya masing-masing seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbedaan antara serat *E-glass* dengan serat batang padi.

No.	Keterangan	Serat <i>E-glass</i>	Serat Batang Padi
1	Kekuatan Tarik	mencapai 2,2 Gpa	150÷300 MPa
2	Densitas	2,54 g/cm ³	1,05 g/cm ³
3	Ketahan terhadap air	baik	kurang
4	Efek terhadap kesehatan	berbahaya bagi kulit bila tertancap ujungnya	tidak membahayakan
5	Efek terhadap lingkungan	sulit untuk didaur ulang	<i>enviromental friendly</i>
6	Nilai produk	cukup ekonomis	sangat ekonomis bahkan tidak bernilai

2.4 Serat Penguat (*Fiber reinforcement*)

Material penguat (*filler*) merupakan komponen yang terpenting di dalam material komposit yang bertujuan untuk memperbaiki sifat dari sifat matriks yang digunakan. Perpaduan antara matriks dan material penguat akan menghasilkan sifat material yang tidak dimiliki masing-masing ketika sebelum digabungkan. Bentuk-bentuk serat yang di perjualbelikan secara umum dapat digolongkan sebagai berikut :

- *Roving*, yaitu kumpulan dari filamen-filamen serat kontinyu, biasanya berbentuk gulungan panjang.
- *Mat (woven fiber)*, yaitu filamen-filamen serat yang berbentuk anyaman.
- *Chopped*, yang dibagi menjadi tiga yaitu :
 - a. *Milled Fiber*, yaitu serat yang telah digiling (*milled*) panjangnya antara 30-3000 mikron. Serat dalam bentuk ini banyak digunakan pada proses pencetakan dengan cetakan tertutup seperti proses injeksi.
 - b. *Short Chopped Fiber (Chopped Strands)*, yaitu serat dengan panjang sekitar 6 mm. Serat ini lebih mahal jika dibanding dengan *milled fiber*.
 - c. *Long Chooped*, yaitu serat dengan panjang sekitar 50 mm dan umumnya digunakan pada proses SMC (*Sheet Moulding Compound*).

Terdapat tiga macam jenis serat yang sering digunakan dalam material komposit serat (Matthews, Rawling, 1994:39-41), yaitu

2.4.1 Serat Sintetik Organik

Secara umum yang termasuk jenis serat ini adalah serat *Aramid*, dan serat polietilen. Serat sintetik organik memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik. Serat ini memiliki densitas yang ringan antara 0,97÷1,4 g/cm³.

2.4.2 Serat Sintetik NonOrganik

Serat nonorganik sudah banyak digunakan terutama dalam pembuatan bahan-bahan komposit. Macam-macam serat nonorganik antara lain serat boron, alumina, serat kaca/gelas, dan serat karbon. Saat ini serat kaca dan karbon merupakan serat nonorganik yang sering digunakan.

A. Serat Gelas

Ada banyak pengelompokan dalam gelas, seperti silika, oxynitride, phosphate, dan gelas halida, tapi bila dilihat dari segi teknologi komposit gelas, silika yang lebih penting. Serat gelas yang memiliki kandungan silika masih terbagi dalam berbagai jenis tergantung dari kandungan material lain dan unsur kegunaannya, jenis serat gelas tersebut antara lain tipe E, S, C, E-CR, dan AR. Dalam perlakuan terhadap serat gelas ini, perlu disertai adanya pemakaian bahan penguat yang serasi dengan matriknya agar hasil yang dihasilkan benar-benar kuat.

Serat gelas tipe E (*Electrical*) merupakan serat yang paling umum digunakan sebagai serat penguat pada material komposit. Serat *E-glass* memiliki kandungan dominan $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ dengan beberapa tambahan seperti B_2O_3 dan MgO . Diameter serat yang diproduksi berukuran 10-20 μm . Serat *E-glass* dapat ditemui dipasaran dalam bentuk *roving*, *mat*, dan *chopped*. Serat ini digunakan untuk komponen yang membutuhkan kekuatan tinggi, kekakuan, dan sifat kelistrikan yang baik. Komposisi dan properti dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi dan properties dari serat gelas

Kandungan, dan Kekuatan	<i>E-glass</i> (%)	<i>S-glass</i> (%)	<i>AR-glass</i> (%)
SiO_2	54	65	64
Ti O_2	-	-	3
Zr O_2	-	-	13
Al_2O_3	14	25	1
B_2O_3	9	-	-
MgO	5	10	-
CaO	18	-	5
Na_2O	-	-	14
<i>Modulus</i> (KN/mm^2)	70	80	75
<i>Strength</i> (N/mm^2)	2200	2600	1700
<i>Density</i> (g/cm^3)	2,54	2,49	2,70

Sumber : Matthews, Rawling, 1994:40

2.4.3 Serat Organik (*Natural Fiber*)

Serat alami yang digunakan sebagai penambah dalam material komposit mulai banyak dikembangkan. Pertimbangan ekologi seperti mampu terdaur ulang dan produk yang *enviromental friendly* merupakan alasan kuat untuk menggunakan serat alami, dimana polusi dan *global warning* menjadi permasalahan yang hampir tidak terkontrol.

Keunggulan serat alami :

1. Produk yang *enviromental friendly* .
2. Bisa didaur ulang (*recyclability*).
3. Memiliki densitas yang lebih rendah dari serat sintetis.
4. Harga serat yang murah.
5. Tidak membahayakan kesehatan.

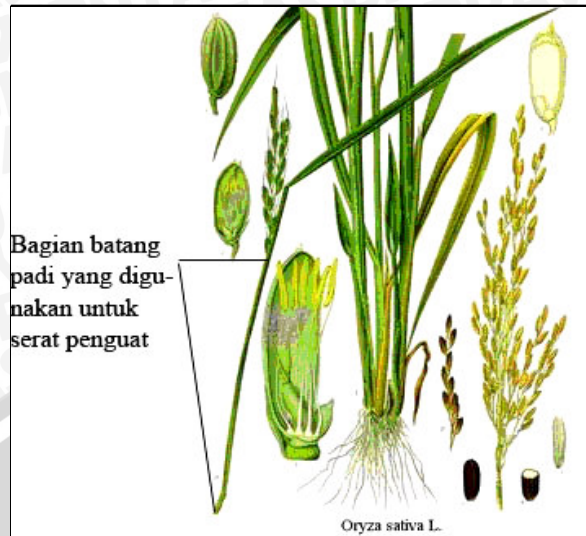
Kekurangan serat alami :

1. Kekuatan yang lebih rendah dibanding serat sintetis
2. Ketahanan air kurang baik.
3. Ketahanan (*durability*) rendah.

Serat alami dari tumbuhan berasal dari serat *ligno-cellulosic*, dimana selulosa memberikan kekuatan sedangkan lignin dan *hemicellulose* memberikan ketangguhan dan perlindungan terhadap serat. Setiap serat terbuat dari beberapa microfibrils, dimana sudut orientasi yang bagus dari *microfibril* maupun kandungan selulosa yang tinggi memberikan sifat mekanis yang lebih baik. (Andre, Alan. 2006)

Padi (*Oryza Sativa*) merupakan produk pertanian yang paling utama di Indonesia. Hingga saat ini bagian padi yang paling banyak digunakan adalah bulir padi (beras), dan sekam padi (digunakan untuk pupuk maupun pakan ternak), sedangkan batang padi masih kurang dimanfaatkan. Sering dijumpai di daerah persawahan batang padi hanya dikumpulkan dan dibakar. Bila dilihat dari kandungan kimia batang padi adalah sebagai berikut (% dari total) 28÷48 selulosa, 12÷16 lignin, 23÷28 pentosan, 15÷20 ash, 9÷14 silika (Han, James. 1998). Kandungan selulosa dan lignin pada batang padi, bisa dimanfaatkan sebagai serat alami untuk penambah matrik komposit.

Klasifikasi Ilmiah Padi (en.wikipedia.org.id/padi/klasifikasi): Kerajaan; *Plantae*, Divisium; *Angiospermae*, Kelas; *Monocotyledoneae*, Ordo; *Poales*, Familia; *Poaceae*, Genus; *Oryza*.



Gambar 2.4 Bagian-bagian Padi
Sumber <http://en.wikipedia.org/wiki/rice>

Pada penelitian ini, bagian padi yang digunakan adalah batang padi bagian pangkal ujung, seperti terlihat pada gambar 2.4. Batang tersebut merupakan bagian yang lebih tahan terhadap pelapukan saat dilakukan perlakuan dengan direndam di air. Varietas *Oryza sativa* terdiri dari dua varietas utama: *indica* dan *japonica*. Yang sering dijumpai di pulau Jawa adalah varietas *javanica* yang memiliki sifat antara dari kedua varietas utama tersebut.

2.5 Metode Pembuatan Komposit

2.5.1 Injection Moulding

Injeksi plastik merupakan salah satu proses pencetakan plastik yang dilakukan dengan cara memberikan tekanan injeksi dengan besaran tertentu kepada material plastik yang telah dilelehkan pada titik lelehnya dengan menggunakan panas, agar plastik dapat masuk ke dalam cetakan sehingga didapatkan bentuk yang diinginkan. Proses pencetakan dengan metode injeksi plastik banyak digunakan untuk membuat berbagai jenis produk plastik mulai dari peralatan rumah tangga sampai dengan komponen mesin.

Manfaat penggunaan proses injeksi plastik berdasarkan atas keunggulannya:

- Komponen dapat dihasilkan dengan tingkat produksi tinggi (kecepatan prosesnya tinggi).
- Dapat mencetak produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda tanpa merubah mesin dan cetakan.
- Dapat menghasilkan produk tanpa pengerjaan akhir (*finishing*) yang rumit.

- Produk dapat dibuat dengan toleransi ukuran kecil.

Beberapa tahapan pada proses pencetakan injeksi plastik:

A. Proses Pemanasan

Plastik yang dimasukkan kedalam barel dipanaskan hingga leleh.

B. Proses Injeksi.

Lelehan plastik yang didorong oleh *piston* kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan.

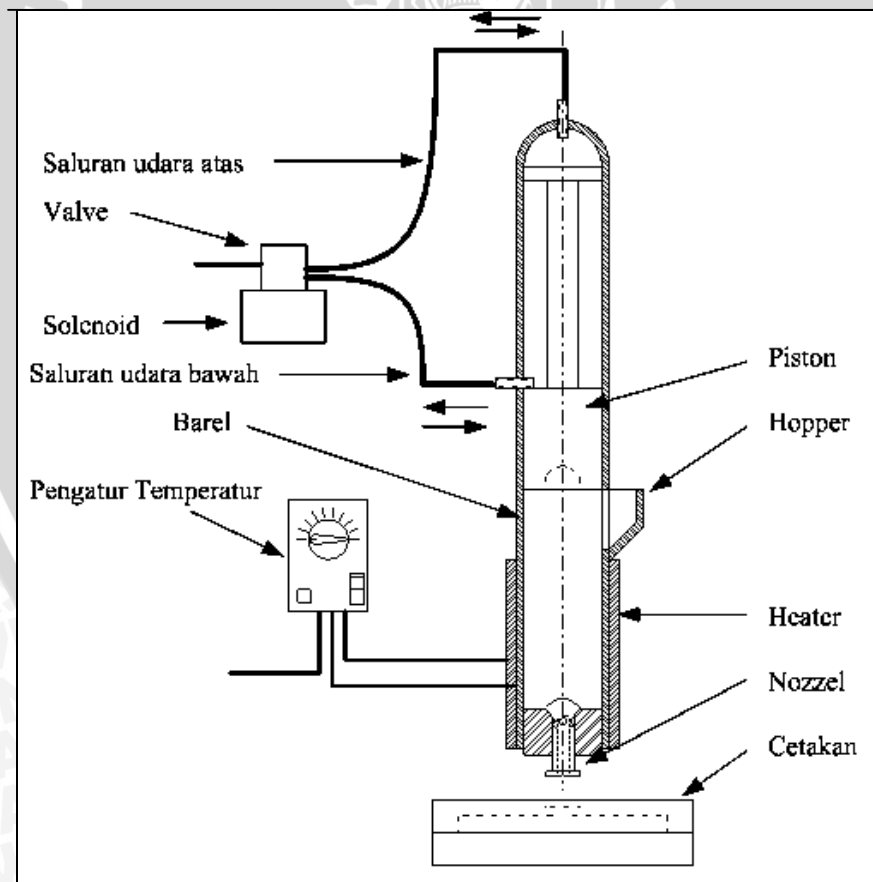
C. Proses Penahanan cetakan

Pada proses ini cetakan ditahan hingga cairan plastik yang ada didalamnya membeku agar plastik tersebut tidak mengembang.

D. Proses Pengeluaran Produk.

Setelah cairan plastik dalam cetakan membeku, cetakan dibuka dan hasil produk dikeluarkan.

2.5.2 Mesin *Injection Moulding*



Gambar 2.5 Bagian-Bagian Mesin *Injection Moulding*

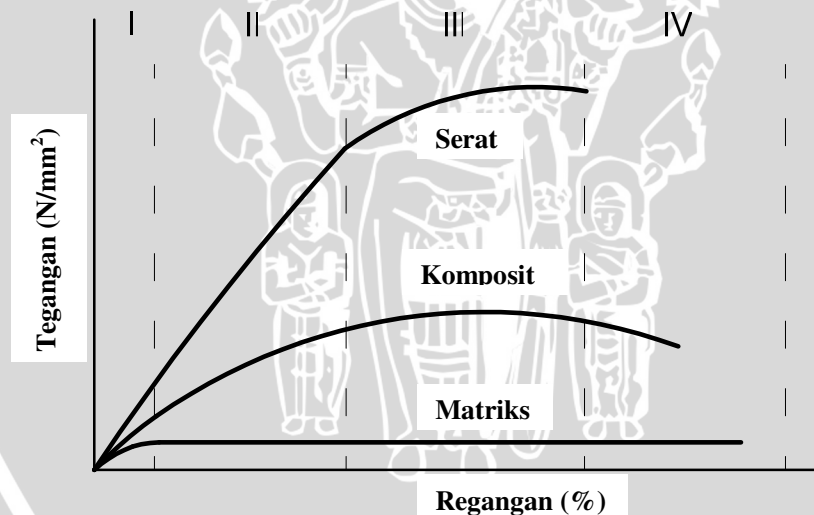
Sumber : Lab. Pengujian Bahan Poltek Malang

Dari gambar 2.5 dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing bagian sebagai berikut :

- a. *Hopper*, sebagai tempat penampungan material.
- b. *Barel*, sebagai tempat material dipanaskan.
- c. *Heater*, sebagai pemanas untuk melelehkan material.
- d. *Piston*, sebagai pemberi tekanan pada material dengan memanfaatkan tekanan dari kompresor.
- e. *Nozzle*, untuk menginjeksikan material kedalam cetakan.

2.6 Sifat Komposit

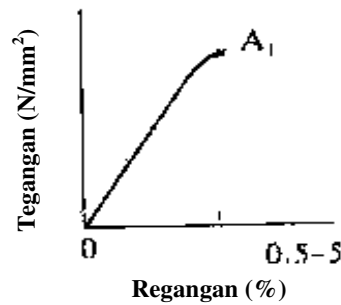
Sifat-sifat komposit yang diperkuat *filler* tergantung oleh banyak faktor, antara lain adhesi *filler*-matrik, fraksi berat *filler*, dan orientasi *filler*. Ketika terjadi tegangan tarik, keduanya antara matrik dan *filler* meregang bersamaan menurut prinsip gaya gabungan. Dari sini sifat mekanik komposit nilainya dapat ditentukan berdasarkan sifat matrik dan sifat *filler*.



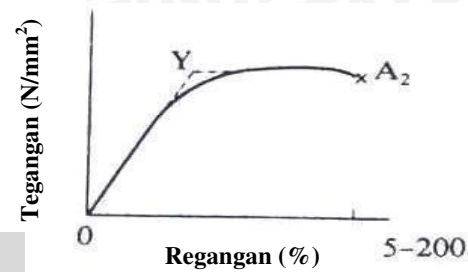
Gambar 2.6 Tegangan–Regangan Matrik, Komposit dan *Fiber (Filler)*
Sumber : Sulistyono, 2006:18

Dari gambar 2.6 diilustrasikan empat tahapan deformasi pada matrik, komposit dan *filler*. Tahap I adalah deformasi elastis antara kedua matrik dan *filler*. Tahap II adalah deformasi elastis pada *filler* dan deformasi plastis pada matrik. Tahap III adalah deformasi plastis antara kedua matrik dan *filler*. Dan tahap IV adalah kerusakan antara kedua matrik dan *filler*. Penggunaan matrik dengan bahan polimer memiliki

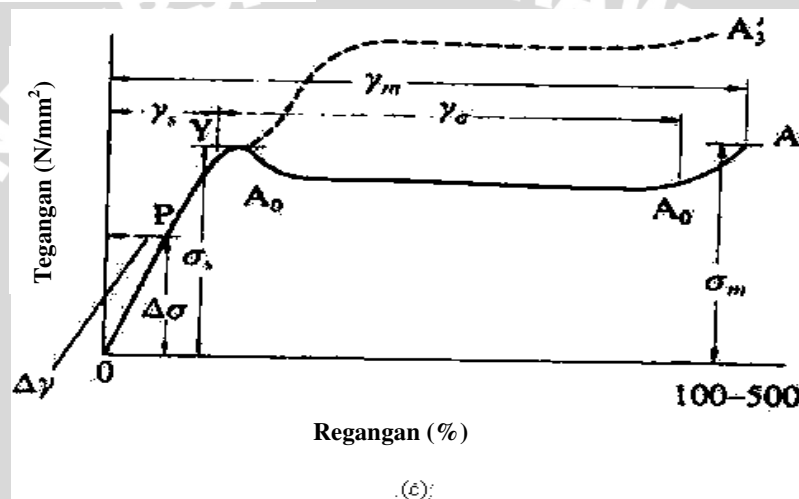
karakteristik tegangan-regangan yang berbeda untuk jenis polimer yang berbeda, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.7.



(a)



(b)



Gambar 2.7 Grafik Tegangan-Regangan Berbagai jenis Polimer
Sumber : Tata Surdia. 1995 : 181

Pada gambar 2.7 yang ditunjukkan pada (a) garis OA_1 menunjukkan laju regangan yang agak rendah antara 0.5-5%, pada saat patah menunjukkan hubungan lurus. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah fenol, urea, melamin, poliester dan resin styrene yang bersifat patah getas.

Pada grafik selanjutnya yang ditunjukkan pada (c), garis OY merupakan garis lurus sampai titik mulur pada Y, tetapi setelah itu memberikan regangan yang besar sampai 100-500%, dan sebelum patah tegangan tarik meningkat dengan cepat, kadang-kadang peningkatan terakhir ini tidak dapat teramati. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah polietilen, polipropilen, dan poliasetal yang terdiri dari molekul rantai.

Grafik (b) pada gambar 2.7 berada di antara (a) dan (c) yang tidak menunjukkan penurunan beban setelah titik mulur seperti halnya yang ditunjukkan pada (c) tetapi

hanya satu titik patah, jadi beban meningkat yang mengakibatkan patah. Bahan yang termasuk jenis ini adalah resin ABS, asetat dan resin fluoro.

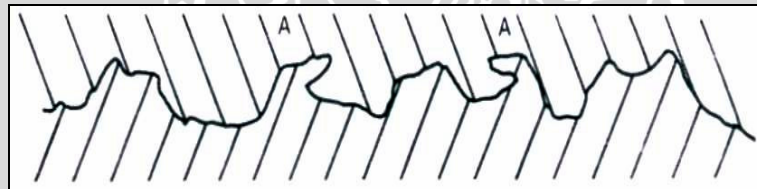
Kelakuan bahan tersebut di atas berlaku pada temperatur kamar. Kelakuan tersebut akan berubah banyak apabila temperatur berubah. Resin termoset seperti resin *polyester* menunjukkan kelakuan seperti pada (a), sedangkan resin termoplastik sering berubah dari kelakuan (a) ke (c) apabila temperatur meningkat (Tata Surdia, 1995 : 181).

2.7 Teori Ikatan Matriks dengan Filler

Saat matriks cair melapisi dan melekat pada permukaan serat penguat, terjadi ikatan antara matriks dan permukaan serat penguat. Terdapat beberapa macam ikatan yang terbentuk (Matthews, Rawling, 1994:61-64), antara lain :

A. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

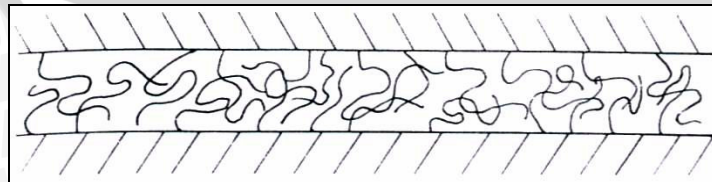
Matriks cair akan menyebar ke seluruh permukaan serat penguat dan mengisi setiap lekuk dari permukaan serat yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*) seperti pada Gambar 2.8 dan semakin kasar permukaan serat penguat maka semakin kuat ikatan yang terbentuk.



Gambar 2.8 *Mechanical Bonding*

B. Ikatan reaksi (*Reaction bonding*)

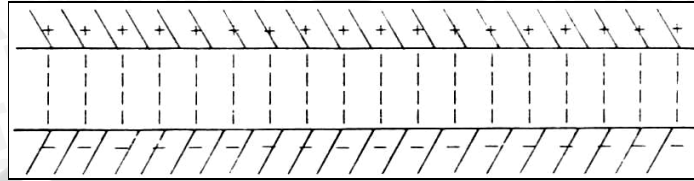
Atom atau molekul dari dua komponen dalam komposit dapat bereaksi pada permukaannya sehingga terjadi ikatan reaksi seperti Gambar 2.9. Ikatan ini akan membentuk lapisan permukaan (*interfacial layer*) yang mempunyai sifat yang berbeda dari kedua komponen tersebut. Ikatan ini dapat terjadi karena adanya difusi atom-atom permukaan dari komponen komposit.



Gambar 2.8 *Reaction Bonding*

C. Ikatan elektrostatis (*Electrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatis seperti yang ditunjukkan Gambar 2.10 terjadi antara matriks dan serat penguat ketika salah satu permukaan mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.



Gambar 2.10 *Electrostatic Bonding*

2.8 Kekuatan Tarik untuk *Discontinuous Short Fibre Composite*

Komposit dengan serat yang disusun secara *continuous*, serat memanjang sesuai dengan panjang spesimen komposit, *tensile strength* atau kekuatan tarik longitudinal komposit dapat dengan mudah diprediksi dengan teori *rule-of-mixture (ROM)*. (Matthews, Rawling, 1994:253)

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \quad \dots(2.1)$$

Jika terdapat lebih dari satu serat penguat, persamaan diatas menjadi

$$\sigma_c = \sigma_m v_m + \sigma_{f_1} v_{f_1} + \sigma_{f_2} v_{f_2} + \dots + \sigma_{f_n} v_{f_n} \quad \dots(2.2)$$

dengan :

σ_c = tegangan *ultimate* komposit (N.mm⁻²)

σ_m = tegangan *ultimate* matriks (N.mm⁻²)

σ_f = tegangan *ultimate* serat (N.mm⁻²)

v_f = rasio fraksi volume serat

v_m = rasio fraksi volume matriks

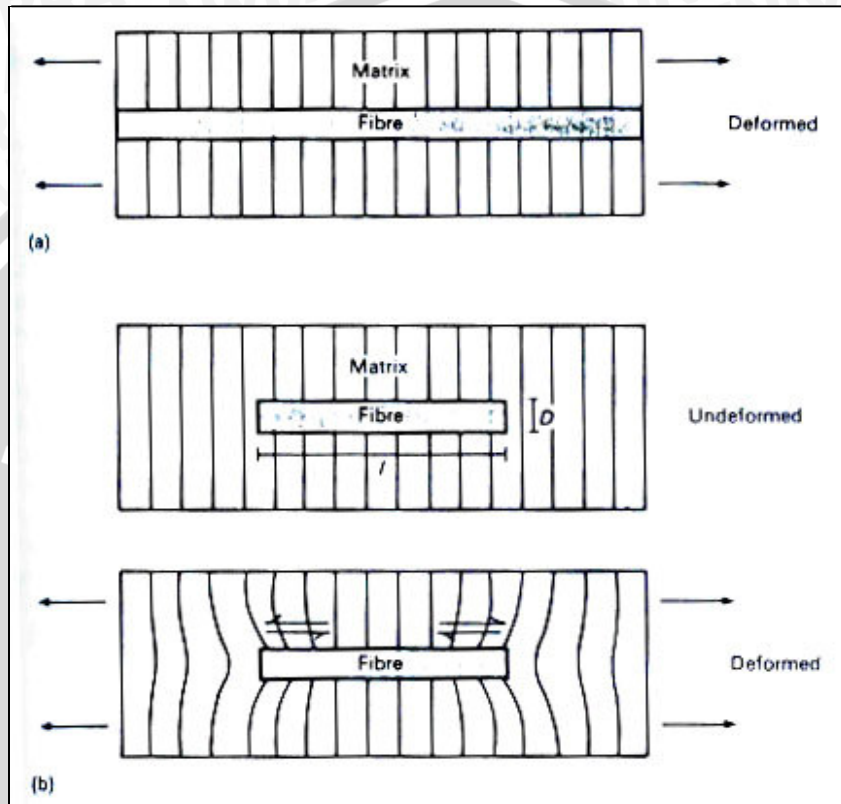
Tetapi jika panjang serat kurang dari panjang komposit atau serat disusun secara *discontinuous* maka teori *rule-of-mixture* tidak dapat memprediksikan kekuatan tarik komposit secara akurat, karena tegangan yang diterima matriks tidak seluruhnya terdistribusi oleh serat sepanjang dimensi komposit tetapi hanya sepanjang serat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Oleh karena itu perhitungan teori *rule-of-mixture* pada komposit dengan serat yang disusun secara *discontinuous* tergantung pada panjang serat (*l*).

Kekuatan tarik komposit ditentukan oleh panjang serat kritis dari serat tersebut, panjang kritis serat didefinisikan sebagai panjang minimum yang diperlukan oleh

tegangan untuk mencapai tegangan patah dari serat. Panjang serat kritis ditentukan menurut keseimbangan gaya pada serat ketika serat menerima tegangan maksimum. (Matthews, Rawling, 1994:299)

$$\text{Gaya tarik pada serat} = \sigma_{ff} \pi D^2 / 4 \quad \dots(2-3)$$

$$\text{Gaya geser pada permukaan serat} = \tau_i \pi D l_c / 2 \quad \dots(2-4)$$



Gambar 2.11 Pengaruh deformasi pada regangan di sekitar serat.(a)serat *continuous*;(b)serat *discontinuous*(serat pendek)

Sumber : Matthew and Rawlings, 1994 : 297

Pada komposit yang diperkuat serat, gaya tarik pada serat sama dengan gaya geser pada permukaan serat, maka dari persamaan (2-3) dan (2-4) di atas didapat panjang serat kritis (l_c)

$$l_c = \frac{\sigma_{ff} D}{2\tau_i} \quad \dots(2-5)$$

dengan :

σ_{ff} = tegangan tarik serat (N.mm⁻²)

D = diameter serat (mm)

τ_i = tegangan geser permukaan matriks dengan serat (N.mm⁻²)

Pada umumnya terdapat dua macam kegagalan yang terjadi pada komposit serat pendek, yaitu *fiber pull-out* dan *fiber fracture*. *Fiber pull-out* akan terjadi jika $l < l_c$ sedangkan bila kondisi $l > l_c$ memungkinkan terjadinya patahan pada serat (*fiber fracture*). Kekuatan tarik pada komposit dengan serat yang disusun secara *discontinuous* longitudinal sesuai dengan teori *rule-of-mixture* berdasarkan tegangan rata-rata pada serat adalah sebagai berikut (Matthews, Rawling, 1994:310)

Untuk $l < l_c$

$$\sigma_c = \frac{\tau_i l v_f}{D} + \sigma_m (1 - v_f) \quad \dots(2-6)$$

Untuk $l > l_c$

$$\sigma_c = \sigma_{ff} \left(1 - \frac{l_c}{2l} \right) v_f + \sigma_m (1 - v_f) \quad \dots(2-7)$$

dengan :

l = panjang serat (mm)

v_f = fraksi volume serat

σ_m = tegangan tarik matriks (N.mm⁻²)

σ_f = tegangan tarik serat (N.mm⁻²)

Di dalam penelitian ini panjang serat yang digunakan bervariasi dari 1, 3, dan 5 mm. Dimana panjang kritis serat *E-glass* matriks polipropilen berukuran 1,8 mm. (Matthews, Rawling, 1994:301).

2.9 Hubungan Fraksi Berat dengan Fraksi Volume

Dalam pembuatan dan sifat material komposit sangat tergantung dari perbandingan kandungan dan sifat dari matriks dan penguat (*reinforcement*). Perbandingan kandungan dapat di ekspresikan dengan fraksi berat (w), yang digunakan untuk proses pembuatan, atau fraksi volume yang mana sering digunakan untuk perhitungan. (Matthews, Rawling, 1994:12-13).

Definisi dari w dan v merupakan perbandingan dari berat (W) dan volume (V).

Fraksi Volume:
$$v_f = \frac{V_f}{V_c} \quad \text{dan} \quad v_m = \frac{V_m}{V_c} \quad \dots(2-8)$$

Fraksi Berat:
$$w_f = \frac{W_f}{W_c} \quad \text{dan} \quad w_m = \frac{W_m}{W_c} \quad \dots(2-9)$$

dimana m, f, dan c menunjukkan matriks, serat (*reinforcement*), dan komposit.

Dengan catatan $v_f + v_m = 1$ dan $w_f + w_m = 1$, maka $W_c = W_f + W_m$

Dengan $W = \text{densitas}(\rho) \times \text{volume}(V)$,

$$\text{maka } w_f = \frac{W_f}{W_c} = \frac{(\rho_f V_f)}{(\rho_c V_c)} = \frac{\rho_f}{\rho_c} v_f \quad \text{dan} \quad w_m = \frac{W_m}{W_c} = \frac{(\rho_m V_m)}{(\rho_c V_c)} = \frac{\rho_m}{\rho_c} v_m \quad \dots(2-10)$$

2.10 Hipotesis

Dari teori dan penelitian sebelumnya diketahui bahwa penambahan material penguat pada komposit matriks polimer dapat menyebabkan peningkatan kekuatan tariknya. Sehingga dapat diduga bahwa ukuran panjang serat dengan serat penguat yang berbeda akan mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Serta variasi komposisi fraksi berat *hybrid* dari serat batang padi dengan serat *E-glass* menyebabkan peningkatan terhadap kekuatan tarik komposit. Maupun perpaduan antara panjang serat dan variasi fraksi *hybrid* serat akan meningkatkan kekuatan tarik komposit.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*) untuk mendapatkan data-data dan informasi tambahan diperoleh melalui kajian literatur dari buku, internet dan jurnal.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel yang digunakan adalah perbandingan fraksi berat (%) *filler* (serat batang padi {SBP} dengan serat *E-glass* {SEG}) dalam matrik polipropilen material komposit, perbandingannya *filler* dengan matrik dibuat tetap 20%:80%.

- Perbandingan fraksi berat *filler* antara SBP dengan SEG yaitu : (100%:0%), (75%:25%), (50%:50%), (25%:75%), dan (0%:100%).
- Panjang serat *filler* dengan ukuran 1 mm, 3mm, 5mm.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah :

- *Tensile Strength* (kekuatan tarik) (N.mm^{-2}).

3.2.3 Parameter Terkendali

- Temperatur pada proses injeksi sebesar 200 °C.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Maret-Juni 2007. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu :

1. Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Laboratorium Pengcoran Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Laboratorium Pengujian Bahan POLITEKNIK Negeri Malang.

3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Mesin *injection moulding*

Merek : TEFORMA

Maschinenbau GmbH D-6991 Igersheim

Tipe : RN 350
220 V, 50 Hz, 600 W

Tekanan Maks: 10 bar

b. Mesin pengujian tarik

Merek : MFL Piuf – Und Me Bysteme GmbH D 6800 Mannheim
Kapasitas : 100 kN
Tipe : U PD 10
Tahun : 1982

Mesin ini memiliki tiga skala pengukuran beban, yaitu :

A : 0 – 20 kN
A + B : 0 – 50 kN
A + B + C : 0 – 100 kN

c. Timbangan *digital*

Merek : METTLER

d. Mesin ayak *rotab*

Merek : Retsh
Tipe : VS 1
Voltage : 220 V
Daya : 430 W
Buatan : Jerman

e. Cetakan spesimen

f. Jangka sorong

g. Kertas gosok

h. Kertas ukur

i. Gunting

j. Kamera digital

Merek : Nikon
Resolusi : 8 Megapixel

3.4.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Polipropilen dalam bentuk pelet.
- Serat kaca
- Serat batang padi.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Perlakuan Serat Batang Padi

- a. Mengumpulkan batang padi bagian ujung.
- b. Mencuci dan membersihkan, kemudian dijemur sampai kering.
- c. Direndam dalam air selama 2 minggu.
- d. Dalam keadaan basah dipukul hingga filamen serat terpisah dan keringkan.
- e. Gulung serat pada kertas ukur, kemudian potong sesuai ukuran.
- f. Hasil yang didapat diayak dengan ayak *rotab*.
- g. Serat batang padi siap untuk digunakan.

3.5.2 Perlakuan Serat *E-Glass*

- a. Serat yang digunakan berbentuk *roving* (benang panjang).
- b. Gulung serat pada kertas ukur, kemudian potong sesuai ukuran.
- c. Serat *E-glass* siap digunakan.

3.5.3 Pembuatan Spesimen Komposit

Langkah-langkah pembuatan spesimen bahan komposit pada penelitian ini adalah :

1. Dilakukan penimbangan serat dan resin polipropilen sesuai dengan fraksi berat yang diinginkan.
2. Pencampuran serat dan resin polipropilen dilakukan dengan metode *dry mixing*, kemudian dimasukkan dalam *injection moulding* dengan suhu 200°C.
3. Lelehan komposit yang keluar dari *nozzle* mesin *injection moulding*, disalurkan dan dicetak ke dalam cetakan menjadi spesimen uji.
4. Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan *finishing* untuk menghilangkan bekas saluran dan sirip.
5. Pengukuran dimensi spesimen, kemudian spesimen diampas untuk mendapatkan permukaan yang sevarian.

3.6 Metode Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

3.6.1 Prosedur Pengujian Tarik

Spesimen pengujian tarik dibuat dengan proses *injection moulding* pada cetakan yang telah disiapkan. Proses dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing komposisi fraksi berat dan panjang serat. Setelah itu spesimen diletakkan pada mesin uji tarik dengan cara dicengkeram pada kedua ujungnya secara vertikal kemudian salah satu ujungnya ditarik dengan penambahan beban yang konstan sampai spesimen patah

Prosedur pengujian sebagai berikut :

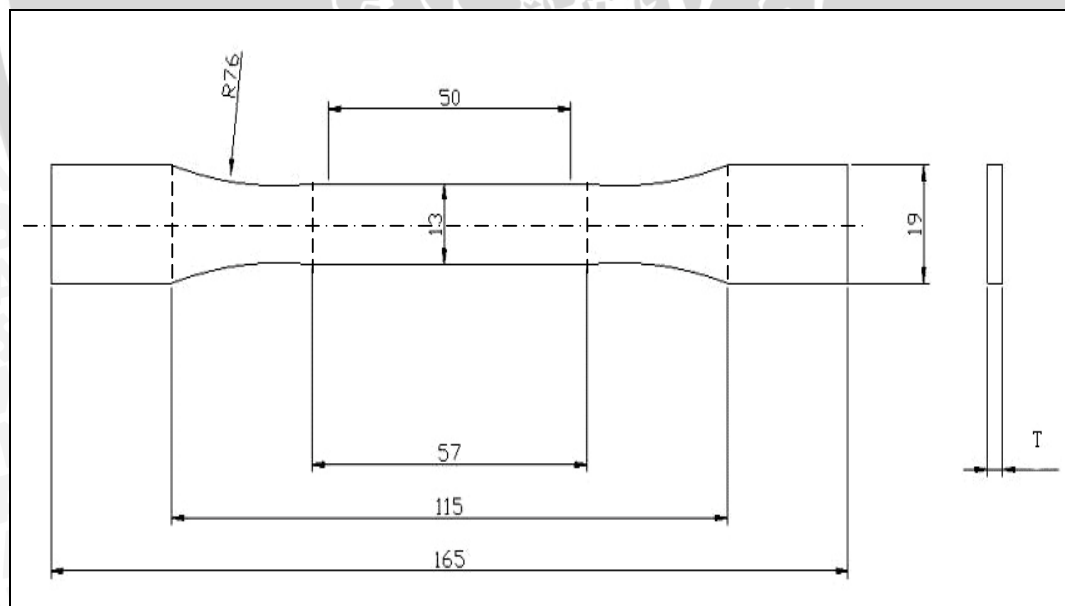
1. Spesimen dipasang erat pada cekam penjepit.
2. Alat uji tarik diatur pada debit fluida hidrolis sebesar 1,2 liter/menit, dengan pembebanan pada posisi A, skala pertambahan panjang 0 mm, dan jarum beban pada posisi 0 (nol).
3. Mesin dinyalakan, dan dilakukan pengamatan dengan teliti terhadap beban dan pertambahan panjang sampai spesimen patah.

Dimensi Spesimen

Spesimen pengujian tarik dibuat dengan proses *injection moulding* pada cetakan yang telah disiapkan disesuaikan dengan ASTM D638-97 yang ukurannya seperti tabel 3.1 dan bentuknya seperti gambar 3.1. Proses pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing komposisi fraksi berat dan panjang serat.

Tabel 3.1 Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

<i>Width of narrow section</i>	<i>Length of narrow section</i>	<i>Width overall</i>	<i>Length overall</i>	<i>Gage length</i>	<i>Distance between grips</i>	<i>Radius of fillet</i>
13 mm	57 mm	19 mm	165 mm	50 mm	115 mm	76 mm



Gambar 3.1 Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

Sumber : ASTM D638-97, *Tensile Properties of Plastic*

3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis dan kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.

3.7.1 Analisa Varian Dua Arah

Data yang telah diperoleh dari tabel 3.2 kemudian diolah dengan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian dua arah.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian Hasil Uji Tarik

Variabel Bebas		Variabel Terikat			
Faktor A	Faktor B	Pengulangan			Rata-rata
		1	2	3	
A ₁	B ₁	Y ₁₁₁	Y ₁₁₂	Y ₁₁₃	T ₁₁
A ₁	B _j	Y _{1j1}	Y _{1j2}	Y _{1j3}	T _{j1}
A ₁	B _c	Y _{1c1}	Y _{1c2}	Y _{1c3}	T _{c1}
A ₁	B _d	Y _{1d1}	Y _{1d2}	Y _{1d3}	T _{d1}
A ₁	B _e	Y _{1e1}	Y _{1e2}	Y _{1e3}	T _{e1}
A ₂	B ₁	Y ₂₁₁	Y ₂₁₂	Y ₂₁₃	T ₁₂
A ₂	B _j	Y _{2j1}	Y _{2j2}	Y _{2j3}	T _{j2}
A ₂	B _c	Y _{2c1}	Y _{2c2}	Y _{2c3}	T _{c2}
A ₂	B _d	Y _{2d1}	Y _{2d2}	Y _{2d3}	T _{d2}
A ₂	B _e	Y _{2e1}	Y _{2e2}	Y _{2e3}	T _{e2}
A ₃	B ₁	Y ₃₁₁	Y ₃₁₂	Y ₃₁₃	T ₁₃
A ₃	B _j	Y _{3j1}	Y _{3j2}	Y _{3j3}	T _{j3}
A ₃	B _c	Y _{3c1}	Y _{3c2}	Y _{3c3}	T _{c3}
A ₃	B _d	Y _{3d1}	Y _{3d2}	Y _{3d3}	T _{d3}
A ₃	B _e	Y _{3e1}	Y _{3e2}	Y _{3e3}	T _{e3}

Dimana faktor A adalah panjang serat, dan faktor B adalah fraksi berat. Tabel diatas menunjukkan bahwa pengamatan tiap sel sejumlah t kali dari rancangan dua kategori A dan B dan masing-masing terdiri dari r dan c level. Nilai setiap pengamatan dari tabel diatas ditulis dengan model matematika sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots\dots\dots(3-1)$$

Dan ε_{ijk} merupakan simpangan pengamatan dari nilai Y_{ijk} pada sel ke ij dan μ_{ij} nilai rata-rata populasi.

Bila pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke i dan faktor B pada level ke j dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$, α_i merupakan pengaruh faktor A ke i , β_j merupakan pengaruh faktor B ke j dan μ merupakan nilai rata-rata dari seluruh pengamatan, maka persamaan diatas menjadi :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots\dots\dots(3-2)$$

Dengan mengambil batas:

$$\sum_{i=1}^r \alpha_i = 0; \sum_{j=1}^c \beta_j = 0; \sum_{i=1}^r (\alpha\beta)_{ij} = 0; \sum_{j=1}^c (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

ketiga hipotesa ditulis sebagai berikut:

1. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh panjang serat

Dirumuskan:

$H_0^1 : \alpha_i = 0$, tidak ada pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik

$H_1^1 : \alpha_i \neq 0$, ada pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik

2. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh fraksi berat *hybrid*

$H_0^2 : \beta_j = 0$, tidak ada pengaruh fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik

$H_1^2 : \beta_j \neq 0$, ada pengaruh fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik

3. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh interaksi antara panjang serat dan fraksi berat *hybrid*:

$H_0^3 : (\alpha\beta)_{ij} = 0$, tidak ada pengaruh interaksi antara panjang serat dan fraksi berat *hybrid*

$H_1^3 : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$, ada pengaruh interaksi antara panjang serat dan fraksi berat *hybrid*

Keterangan:

α = Pengaruh panjang serat

β = Pengaruh fraksi berat *hybrid*

$\alpha\beta$ = Pengaruh interaksi panjang serat dengan fraksi berat *hybrid*

Berdasarkan tabel dapat dihitung antara lain:

$$1. \text{ Jumlah seluruh perlakuan} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \dots\dots\dots(3-3)$$

$$2. \text{ Jumlah kuadrat seluruh perlakuan} = \left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2 \dots\dots\dots (3-4)$$

$$3. \text{ Faktor koreksi (FK)} = \left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2 : rct \dots\dots\dots (3-5)$$

$$4. \text{ Jumlah kuadrat total (JKT)} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - FK \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

$$5. \text{ Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c Y_{ij}^2}{t} - FK \quad \dots\dots\dots(3-7)$$

$$6. \text{ Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)} = \frac{\sum_{i=1}^r Y_i^2}{ct} - FK \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

$$7. \text{ Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)} = \frac{\sum_{j=1}^c X_j^2}{rt} - FK \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

$$8. \text{ Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)} = JKP - JKA - JKB \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

$$9. \text{ Jumlah kuadrat galat (JKG)} = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan seperti tabel 3.3.

Tabel 3.3. Tabel Analisis Varian Dua Arah

Sumber keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F _{hitung}
Faktor A	r-1	JKA	$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1}$	$\frac{S_A^2}{S^2}$
Faktor B	c-1	JKB	$S_B^2 = \frac{JKB}{c-1}$	$\frac{S_B^2}{S^2}$
Interaksi A dan B	(r-1)(c-1)	JKAB	$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$	$\frac{S_{AB}^2}{S^2}$
Galat	rc(t-1)	JKG	$S^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)}$	
Total	rct-1	JKT		

Kesimpulan yang didapat dari uji F ini sebagai berikut :

1. Bila $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima. Berarti faktor A (panjang serat) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
2. Bila $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima. Berarti faktor B (fraksi berat *hybrid*) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
3. Bila $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima. Berarti interaksi faktor A (panjang serat) dan faktor B (fraksi berat) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

3.7.2 Analisa Regresi

Analisa regresi adalah teknik statistik untuk mendapatkan suatu pola hubungan dan seberapa besar pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat yang dalam hal ini

panjang serat dan fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik sehingga diketahui persamaan regresinya.

Persamaan regresi yang dipakai adalah model polynomial di mana model penduga dari regresi polynomial derajat k dinyatakan dengan :

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots + b_kx^k \quad \dots\dots\dots(3-12)$$

persamaan normal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 1. \sum yi &= b_0n + b_1 \sum xi + b_2 \sum x^2i + b_3 \sum x^3i + \dots\dots\dots + b_k \sum x^ki \\ 2. \sum xiyi &= b_0 \sum xi + b_1 \sum x^2i + b_2 \sum x^3i + b_3 \sum x^4i + \dots\dots\dots + b_k \sum x^{k+1}i \\ 3. \sum x^2yi &= b_0 \sum x^2i + b_1 \sum x^3i + b_2 \sum x^4i + b_3 \sum x^5i + \dots\dots\dots + b_k \sum x^{k+2}i \end{aligned} \quad (3-13)$$

Di mana y merupakan variabel terikat dan x adalah variabel bebas. Adapun koefisien korelasi dinyatakan sebagai variasi dari persamaan dibandingkan variasi dari data yang didapatkan :

$$R^2 = \frac{\sum[y_{ans} - y_{rata}]^2}{\sum[y - y_{rata}]^2} \quad \dots\dots\dots(3-14)$$

Dengan y_{ans} adalah nilai perkitungan dari persamaan regresi yang telah diperoleh. Dan y_{rata} adalah harga rata-rata data.

Sedangkan untuk persamaan regresi dari interaksi panjang serat dengan fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik menggunakan analisa regresi multipolinomial. Model penduga dari regresi multipolinomial dinyatakan dengan :

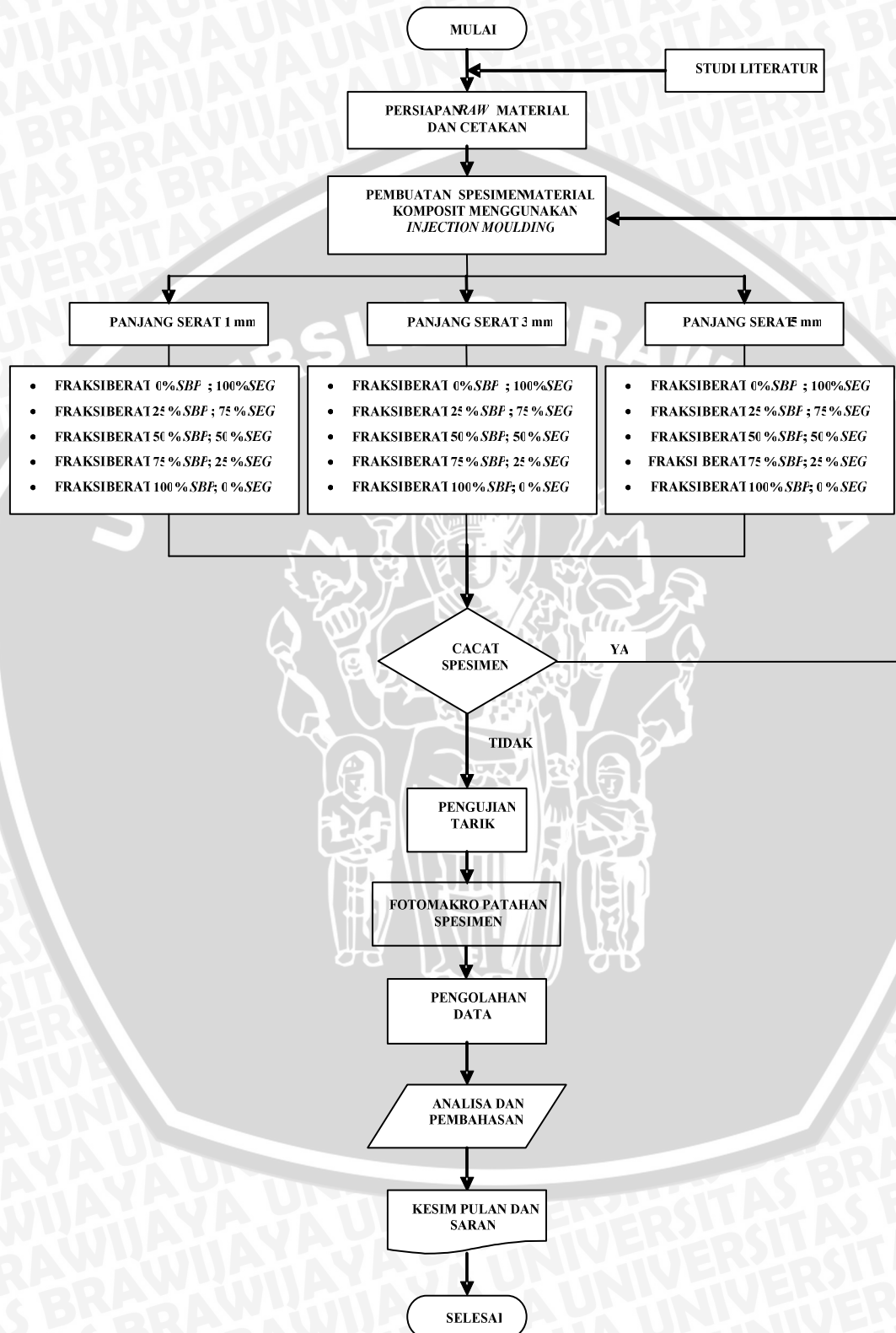
$$Y = a + b_0x + b_1x^2 + b_2x_2 + b_3x_2^2 + b_4x_1x_2 \quad \dots\dots\dots(3-15)$$

Sehingga diperoleh persamaan normalnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum Y &= n.a + b_0 \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_2 + b_3 \sum X_2^2 + b_4 \sum X_1 X_2 \\ \sum Y X_1 &= a \sum X_1 + b_0 \sum X_1^2 + b_1 \sum X_1^3 + b_2 \sum X_1 X_2 + b_3 \sum X_1 X_2^2 + b_4 \sum X_1^2 X_2 \\ \sum Y X_1^2 &= a \sum X_1^2 + b_0 \sum X_1^3 + b_1 \sum X_1^4 + b_2 \sum X_1^2 X_2 + b_3 \sum X_1^2 X_2^2 + b_4 \sum X_1^3 X_2 \\ \sum Y X_2 &= a \sum X_2 + b_0 \sum X_1 X_2 + b_1 \sum X_1^2 X_2 + b_2 \sum X_2^2 + b_3 \sum X_2^3 + b_4 \sum X_1 X_2^2 \\ \sum Y X_2^2 &= a \sum X_2^2 + b_0 \sum X_1 X_2^2 + b_1 \sum X_1^2 X_2^2 + b_2 \sum X_2^3 + b_3 \sum X_2^4 + b_4 \sum X_1 X_2^3 \\ \sum Y X_1 X_2 &= a \sum X_1 X_2 + b_0 \sum X_1^2 X_2 + b_1 \sum X_1^3 X_2 + b_2 \sum X_1 X_2^2 + b_3 \sum X_1 X_2^3 + b_4 \sum X_1^2 X_2^2 \end{aligned}$$

Diagram Alir Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini dibuat diagram alir seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengujian Tarik Komposit

Dari data yang diperoleh selama pengujian dilaksanakan, maka dapat dihitung kekuatan tarik yang ditunjukkan oleh tegangan *ultimatenya* seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pengujian Kekuatan Tarik Komposit (satuan dalam N/mm²)

Panjang Serat	Fraksi Berat SEG:SBP	Kekuatan Tarik (N/mm ²)			
		Pengulangan			Rata-rata
		1	2	3	
1mm	0%:100%	35,798	35,511	35,511	35,607
1mm	25%:75%	38,787	37,594	36,281	37,554
1mm	50%:50%	39,504	41,174	39,742	40,140
1mm	75%:25%	43,203	43,323	42,487	43,004
1mm	100%:0%	50,603	48,633	47,261	48,832
3mm	0%:100%	39,397	38,982	39,422	39,267
3mm	25%:75%	43,681	41,294	43,442	42,805
3mm	50%:50%	44,277	41,652	44,516	43,482
3mm	75%:25%	44,516	45,053	45,053	44,874
3mm	100%:0%	49,529	50,245	49,767	49,847
5mm	0%:100%	40,345	40,786	41,649	40,927
5mm	25%:75%	42,069	42,965	44,874	43,303
5mm	50%:50%	45,232	45,351	45,113	45,232
5mm	75%:25%	46,903	46,068	48,216	47,062
5mm	100%:0%	50,424	50,424	51,438	50,762

4.2 Analisa Data

4.2.1 Analisa Varian Dua Arah

Analisa varian dua arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh panjang serat, fraksi berat *E-glass*-batang padi, serta interaksi panjang serat dan fraksi berat *E-glass*-batang padi terhadap kekuatan tarik komposit. Apabila nilai F_{hitung} yang diperoleh lebih besar dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji memberikan pengaruh yang nyata, bila nilai F_{hitung} sebaliknya maka tidak memberikan pengaruh yang nyata.

Perhitungan yang digunakan dalam analisis varian dua arah ini adalah Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t Y_{ijk} = 35,798 + 35,511 + 35,11 + \dots + 50,424 + 51,438 = 1959,69$$

Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 = 1281,488 + 1261,043 + \dots + 2542,547 + 2645,88 = 86050,92$$

Faktor koreksi (FK)

$$\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2 : rct = (1958,096)^2 : 45 = 85203,1$$

Jumlah kuadrat total (JKT)

33

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - FK = 86050,92 - 85203,1 = 847,842$$

Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c Y_{ij}^2}{t} - FK = \frac{\{(106,82)^2 + (117,802)^2 + \dots + (152,285)^2\}}{3} - 85203,1 = 819,82$$

Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$\frac{\sum_{i=1}^r Y_i^2}{ct} - FK = \frac{\{(615,413)^2 + (660,83)^2 + (681,856)^2\}}{15} - 85203,1 = 153,762$$

Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$\frac{\sum_{j=1}^c X_j^2}{rt} - FK = \frac{\{(347,402)^2 + (370,987)^2 + \dots + (448,323)^2\}}{9} - 85203,1 = 644,005$$

Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$JKP - JKA - JKB = 819,82 - 153,762 - 644,005 = 22,059$$

Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKT - JKA - JKB - JKAB = 847,842 - 153,762 - 644,005 - 22,059 = 28,016$$

Jumlah kuadrat tengah pengaruh A (S_A^2)

$$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{153,762}{2} = 76,881$$

Jumlah kuadrat tengah pengaruh B (S_B^2)

$$S_B^2 = \frac{JKB}{c-1} = \frac{644,005}{4} = 161,001$$

Jumlah kuadrat tengah pengaruh interaksi A dan B (S_{AB}^2)

$$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} = \frac{22,0586}{8} = 2,757$$

Jumlah galat (S^2)

$$S^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)} = \frac{28,0157}{30} = 0,934$$

Tabel 4.2 Tabel Analisis Varian Dua Arah Kekuatan Tarik Komposit

Sumber keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F _{hitung}	F _{tabel}
Faktor A	2	153,762	76,881	82,327	3,32
Faktor B	4	644,005	161,001	172,405	2,69
Interaksi A dan B	8	22,059	2,757	2,955	2,27
Galat	30	28,016	0,934		
Total	44	851,415			

Dari tabel 4.2 analisis varian dua arah dengan mengambil $\alpha = 5\%$ diperoleh hasil:

1. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh panjang serat diperoleh:

$F_{A \text{ hitung}} > F_{A \text{ tabel}}$ maka H_0^1 ditolak, dan H_1^1 diterima, berarti terdapat perbedaan yang nyata pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik komposit dengan tingkat keyakinan 95%.

2. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh fraksi berat *hybrid* diperoleh:

$F_{B \text{ hitung}} > F_{B \text{ tabel}}$ H_0^2 ditolak, dan H_1^2 diterima, berarti terdapat perbedaan yang nyata pengaruh fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik komposit dengan tingkat keyakinan 95%.

3. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh interaksi antara panjang serat dan fraksi berat *hybrid* diperoleh:

$F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ maka H_0^3 ditolak, dan H_1^3 diterima, berarti terdapat perbedaan yang nyata pengaruh interaksi antara panjang serat dan fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik komposit dengan tingkat keyakinan 95%.

4.2.2 Analisa Regresi

Persamaan regresi yang dipakai untuk mengetahui pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik dan fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik adalah model polynomial di mana dinyatakan dengan pernyataan umumnya :

$$\text{Regresi polinomial } Y = a + bx + cx^2$$

Sedangkan untuk pengaruh interaksi panjang serat dengan fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik menggunakan regresi multipolinomial sebagai berikut:

$$Y = a + b_0.x + b_1.x^2 + b_2.x_2 + b_3.x_2^2 + b_4.x_1.x_2$$

Untuk mendapatkan nilai regresi polinomial dari pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik diambil data percontohan, yaitu menggunakan data variasi

panjang serat dengan fraksi berat *E-glass*-batang padi 0%:100%. Pengolahan data seperti pada tabel 4.3 berikut;

Tabel 4.3 Pengaruh panjang serat dengan fraksi berat *E-glass*-batang padi 0%:100%.

No	X (mm)	Y (N/mm ²)	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	1	35,798	1	1	1	35,798	35,798
2	1	35,511	1	1	1	35,511	35,511
3	1	35,511	1	1	1	35,511	35,511
4	3	39,397	9	27	81	118,192	354,576
5	3	38,982	9	27	81	116,947	350,842
6	3	39,422	9	27	81	118,267	354,800
7	5	40,345	25	125	625	201,724	1008,619
8	5	40,786	25	125	625	203,930	1019,648
9	5	41,649	25	125	625	208,247	1041,233
Σ	27	347,4	105	459	2121	1074,13	4236,54

Dari tabel 4.3 didapat perhitungan persamaan:

$$9a + 27b + 105c = 347,4$$

$$27a + 105c + 459c = 1074,1$$

$$105a + 459b + 2121c = 4236,5$$

Dari persamaan diatas didapat nilai $a = 33,026$; $b = 2,831$; $c = -0,25$. Sehingga persamaan regresi untuk variasi panjang serat terhadap kekuatan tarik pada fraksi berat batang padi 100% adalah $Y = 33,026 + 2,831x - 0,25x^2$

Adapun koefisien korelasi dari variasi panjang serat terhadap kekuatan tarik pada fraksi berat batang padi 100% dinyatakan sebagai persamaan korelasi pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik komposit.

Tabel 4.4 Koefisien korelasi panjang serat terhadap kekuatan tarik pada fraksi berat batang padi 100%, *E-glass* 0%.

No.	X (mm)	Y (N/mm ²)	$\bar{Y}$ (N/mm ²)	y (N/mm ²)	$(\bar{Y} - y)^2$	$(\bar{Y} - Y)^2$
1	1	35,798	36,6	35,607	8,961	7,853
2	1	35,511	36,6	35,607	8,961	9,542
3	1	35,511	36,6	35,607	8,961	9,542
4	3	39,397	36,6	39,267	0,445	0,635
5	3	38,982	36,6	39,267	0,445	0,146
6	3	39,422	36,6	39,267	0,445	0,676
7	5	40,345	36,6	40,927	5,412	3,043
8	5	40,786	36,6	40,927	5,412	4,777
9	5	41,649	36,6	40,927	5,412	9,296
Σ	27	347,402	347,4	347,402	44,455	45,512

Dari tabel 4.4 didapat persamaan korelasi panjang serat terhadap kekuatan tarik komposit pada fraksi berat batang padi 100% sebesar

$$R^2 = \frac{\sum (\bar{Y} - y)^2}{\sum (\bar{Y} - Y)^2} = \frac{44,4551}{45,5126} = 0,9768$$

Dengan cara yang sama seperti diatas maka dapat diketahui persamaan regresi dan koefisien korelasi dari:

- Pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik dengan fraksi berat *hybrid* 25%:75%, $Y = 33,1459 + 5,0026x - 0,5942x^2$; $R^2 = 0,8504$.
- Pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik dengan fraksi berat *hybrid* 50%:50%, $Y = 37,8725 + 2,4665x - 0,1989x^2$; $R^2 = 0,8569$.
- Pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik dengan fraksi berat *hybrid* 75%:25%, $Y = 42,1888 + 0,7758x + 0,0398x^2$; $R^2 = 0,8936$.
- Pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik dengan fraksi berat *hybrid* 100%:0%, $Y = 48,288 + 0,5569x - 0,0124x^2$; $R^2 = 0,4587$.
- Pengaruh fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik dengan panjang serat 1mm, $Y = 35,477 - 0,255x + 0,5743x^2$; $R^2 = 0,9611$.
- Pengaruh fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik dengan panjang serat 1mm, $Y = 38,88 + 0,7862x - 0,2561x^2$; $R^2 = 0,8842$.
- Pengaruh fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik dengan panjang serat 1mm, $Y = 39,702 + 1,251x - 0,182x^2$; $R^2 = 0,9445$.

Analisa regresi multi polinomial untuk mengetahui interaksi panjang serat dan fraksi berat *hybrid* terhadap kekuatan tarik didapatkan dari pengolahan data seperti tabel 4.3, sehingga persamaan perhitungan multipolinomialnya seperti berikut:

$$1958.1 = 45a + 135b_0 + 525b_1 + 135b_2 + 495b_3 + 405b_4$$

$$6007.2 = 135a + 525b_0 + 2295b_1 + 405b_2 + 1485b_3 + 1575b_4$$

$$23609 = 525a + 2295b_0 + 10605b_1 + 1575b_2 + 5775b_3 + 6885b_4$$

$$6110 = 135a + 405b_0 + 1575b_1 + 495b_2 + 2025b_3 + 1485b_4$$

$$22996 = 495a + 1485b_0 + 5775b_1 + 2025b_2 + 8811b_3 + 6075b_4$$

$$18678 = 405a + 1575b_0 + 6885b_1 + 1485b_2 + 6075b_3 + 5775b_4$$

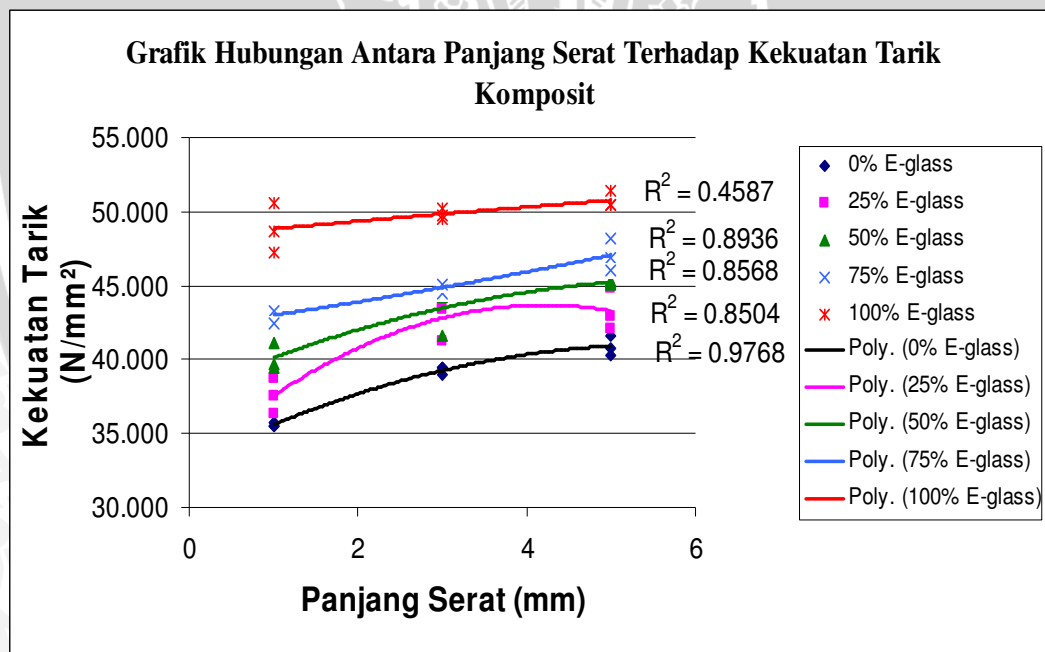
Sehingga dari persamaan diatas didapatkan nilai $a = 31,5043$; $b_0 = 2,9619$; $b_1 = -0,2032$; $b_2 = 1,2293$; $b_3 = 0,3375$; $b_4 = -0,2118$.

4.3 Pembahasan

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan nilai panjang serat dan fraksi berat yang bervariasi, maka didapatkan besarnya kekuatan tarik komposit. Untuk mempermudah menganalisis maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara panjang serat, fraksi berat dengan kekuatan tarik komposit.

4.3.1 Analisis Hubungan antara Panjang Serat *Filler* dengan Kekuatan Tarik Komposit

Dari Gambar 4.1 grafik hubungan antara panjang serat *filler* dengan kekuatan tarik komposit, diketahui bahwa kekuatan tarik komposit cenderung meningkat sampai dengan kekuatan tarik rata-rata tertinggi yang dicapai material komposit polipropilen dengan serat batang padi 100% panjang 5mm sebesar 40,927 N/mm². Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terjadi pada material komposit yang ditambah dengan serat batang padi 100% yang panjang seratnya 1mm, mempunyai kekuatan tarik rata-rata 35,607 N/mm².



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Panjang Serat *Filler* dengan Kekuatan Tarik Komposit

Dengan menggunakan perhitungan statistik analisis varian dua arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 82,327 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 3,32. Yang berarti nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} . Hal ini dapat disimpulkan

bahwa perbedaan panjang serat sebagai penguat dalam komposit matriks polipropilen memberikan pengaruh yang nyata pada kekuatan tarik komposit.

Peningkatan kekuatan tarik komposit dengan bertambahnya panjang serat memberikan efek penguatan positif hingga panjang serat 5mm terhadap matrik polipropilen, hal ini sesuai dengan teori *rule-of-mixture (ROM)* serat dimana penambahan panjang serat akan meningkatkan tegangan tarik komposit polipropilen. Penguatan pada komposit disebabkan adanya ikatan secara mekanik antara matriks dan serat yang semakin kuat, dimana matrik polipropilen mengisi setiap lekuk permukaan serat ketika proses pencairan berlangsung sehingga terjadi mekanisme *interlocking* atau *keying* antara permukaan matriks dengan serat.

Panjang serat juga mempengaruhi mekanisme patahan komposit, dimana panjang serat yang digunakan dibawah panjang serat kritis maka komposit akan cenderung mengalami mekanisme patahan *pull out*. Mekanismenya *pull out* terjadi ketika ikatan antara matrik dan serat melemah ketika beban yang diterima bertambah. Pada saat matrik mengalami kegagalan, serat masih menanggung beban, sehingga ikatan matriks dengan serat akan terlepas. Bila panjang serat yang digunakan lebih besar dari panjang serat kritis maka komposit akan cenderung mengalami mekanisme patahan *fiber fracture*. Disini luas permukaan ikatan antara matrik dan serat lebih besar sehingga ikatannya menjadi lebih kuat. Saat matrik mengalami kegagalan, serat masih menanggung beban hingga batas kekuatan serat tersebut.

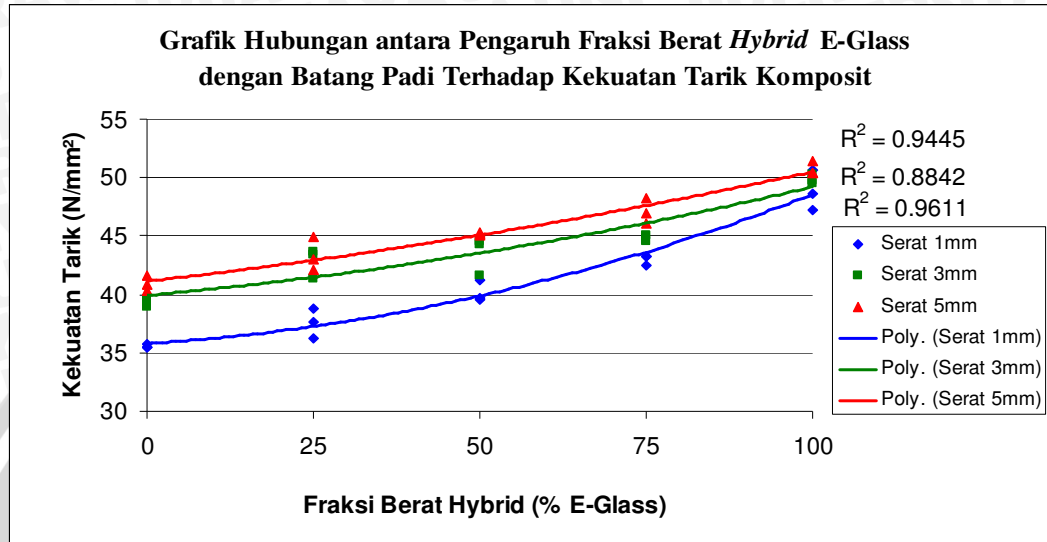
4.3.2 Analisis Hubungan antara Fraksi Berat *Hybrid E-Glass* dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit

Pada penelitian ini, dilihat pengaruh fraksi berat antara *E-glass* dengan batang padi terhadap kekuatan tarik komposit dengan matriks polipropilen. Pada penelitian sebelumnya dapat diketahui bahwa sifat mekanik komposit akan meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat dari *E-glass* yang digunakan (Thwe, Liao. 2001).

Dengan menggunakan perhitungan statistik analisis varian dua arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 172,045 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 2,69. Yang berarti nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} . Hal ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan fraksi berat *hybrid* sebagai penguat dalam komposit matriks polipropilen memberikan pengaruh yang nyata pada kekuatan tarik komposit.

Dari Gambar 4.2 grafik hubungan antara fraksi berat *hybrid E-glass* dengan batang padi terhadap kekuatan tarik komposit, diketahui bahwa kekuatan tarik komposit cenderung meningkat. Untuk serat 1mm, kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh material

komposit polipropilen yang dicampur dengan serat batang padi 0% dan *E-glass* 100% sebesar 48,832 N/mm², sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terjadi pada material komposit yang ditambah dengan serat batang padi 100% dan *E-glass* 0% sebesar 35,607 N/mm².



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Fraksi Berat *Hybrid E-glass* dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit

Peningkatan kekuatan tarik komposit dengan bertambahnya fraksi *E-glass* menunjukkan *E-glass* memberikan efek penguatan positif terhadap matrik polipropilen. Penguatan terjadi akibat kekuatan tarik serat *E-glass* yang jauh lebih tinggi dibanding dengan serat batang padi maupun matriks polipropilen. Sehingga jika fraksi serat *E-glass* ditingkatkan maka akan meningkatkan tegangan tarik komposit.

4.3.3 Analisis Hubungan Interaksi Panjang Serat dan Fraksi Berat *Hybrid E-glass* dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit

Dari analisa regresi sebelumnya didapatkan persamaan multipolinomial sebagai berikut :

$$Y = 31,5043 + 2,9619 \cdot x_1 - 0,2032 \cdot x_1^2 + 1,2293 \cdot x_2 + 0,3375 \cdot x_2^2 - 0,2118 \cdot x_1 \cdot x_2$$

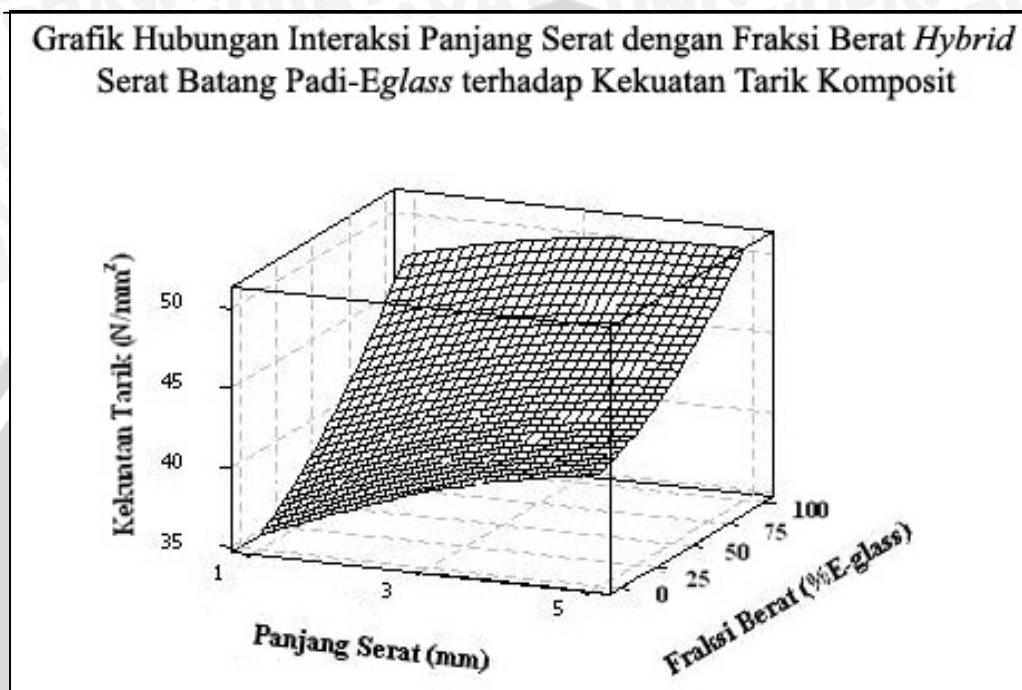
dengan : x_1 = variabel panjang serat , Y = persamaan kekuatan tarik ,
 x_2 = variabel fraksi berat

Sehingga dari persamaan multipolinomial tersebut didapatkan faktor korelasinya :

$$R^2 = \frac{796,025}{847,84} = 0,9389$$

Dari Gambar 4.3 grafik hubungan interaksi panjang serat dan fraksi berat *hybrid* dengan kekuatan tarik komposit, dapat diketahui kekuatan tarik komposit cenderung meningkat sampai dengan fraksi 100% *E-glass* dengan panjang serat 5mm. Kekuatan

tarik rata-rata tertinggi yang dicapai material komposit polipropilen dengan panjang serat 5mm penambahan serat *E-glass* 100% sebesar 50.762 N/mm², sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terjadi pada material komposit yang ditambah dengan serat batang padi 100% panjang seratnya 1mm sebesar 35,607 N/mm².



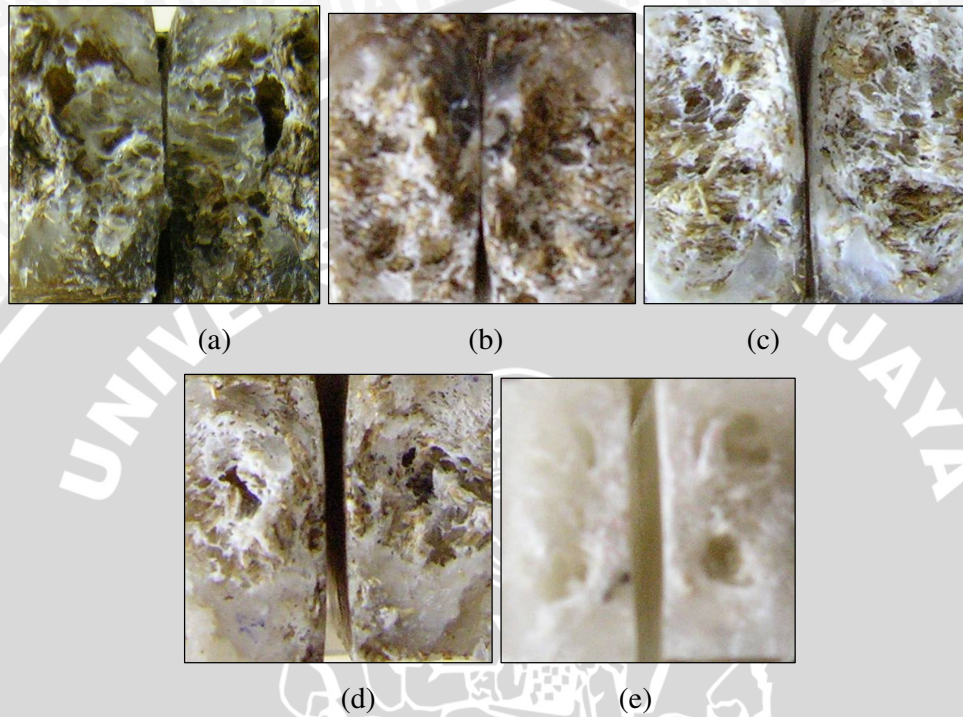
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Interaksi Panjang Serat dan Fraksi Berat *Hybrid E-glass* dengan Batang Padi terhadap Kekuatan Tarik Komposit.

Dengan menggunakan perhitungan statistik analisis varian dua arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 2,927 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 2,27. Yang berarti nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} . Hal ini dapat disimpulkan bahwa hubungan interaksi panjang serat dan fraksi berat *hybrid* dengan kekuatan tarik komposit memberikan pengaruh yang nyata pada kekuatan tarik komposit matriks polipropilen.

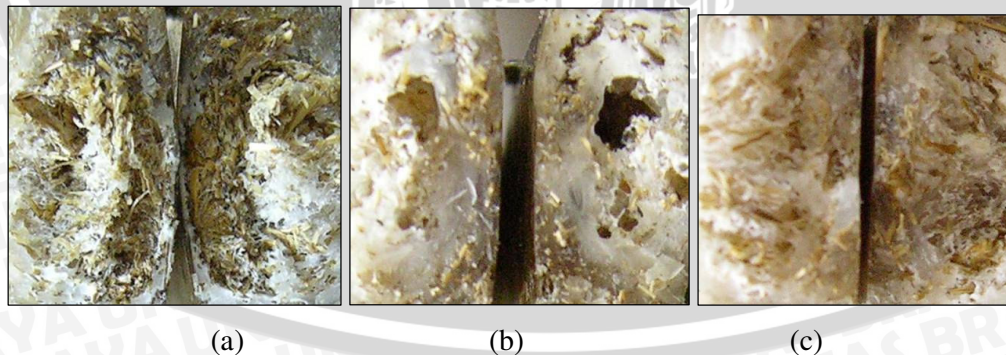
Peningkatan kekuatan tarik seiring dengan pertambahan panjang serat menunjukkan bahwa ikatan antara matriks dengan serat semakin kuat sehingga mengurangi terjadinya mekanisme patahan *pull out*. Dengan semakin meningkatnya fraksi berat *E-glass* terhadap batang padi menunjukkan kekuatan tarik komposit semakin meningkat yang disebabkan kekuatan tarik serat *E-glass* yang lebih tinggi dari batang padi maupun matriks polipropilen.

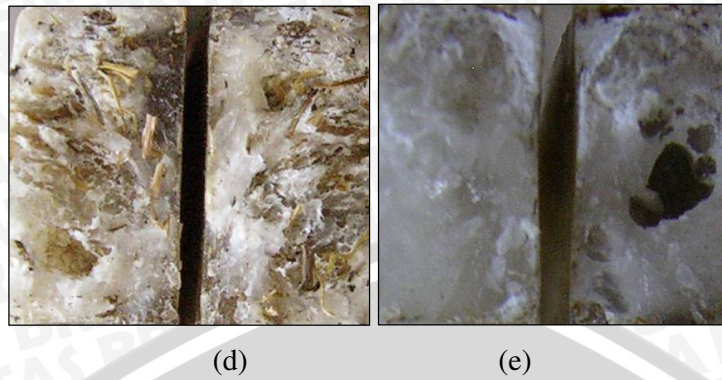
4.3.4 Foto Makrostruktur Patahan Komposit

Dari hasil pengujian tarik dapat diketahui bentuk permukaan patahan spesimen komposit dengan berbagai variasi panjang serat dan fraksi berat *Eglass* - batang padi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.6.

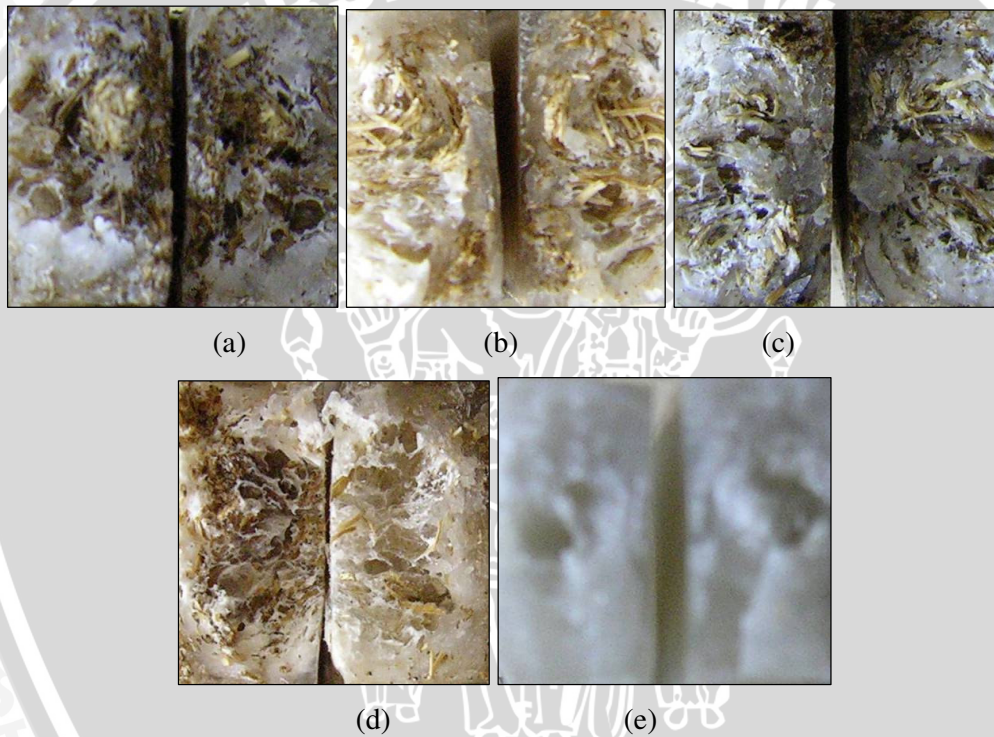


Gambar 4.4 Patahan Spesimen Uji Tarik Panjang Serat 1mm, Fraksi *hybrid E-glass* dengan batang padi (a) 0%:100%, (b) 25%:75%, (c) 50%:50%, (d) 75%:25%, (e) 100%:0%





Gambar 4.5 Patahan Spesimen Uji Tarik Panjang Serat 3mm, Fraksi *hybrid E-glass* dengan batang padi (a) 0%:100%, (b) 25%:75%, (c) 50%:50%, (d) 75%:25%, (e) 100%:0%



Gambar 4.6 Patahan Spesimen Uji Tarik Panjang Serat 5mm, Fraksi *hybrid E-glass* dengan batang padi (a) 0%:100%, (b) 25%:75%, (c) 50%:50%, (d) 75%:25%, (e) 100%:0%

Pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 (e) untuk komposisi fraksi berat *hybrid E-glass* 100%, menunjukkan bahwa patahan yang terjadi lebih banyak patahan getas disertai pula adanya *pullout* untuk panjang serat 1mm dan 3mm, patahan getas yang terjadi pada komposit disebabkan sifat kaca yang getas. Permukaan yang kasar pada patahan komposit terjadi akibat adanya *pullout*, yaitu munculnya *filler* pada permukaan patahan. Adanya rongga pada sebagian spesimen seperti gambar 4.6 (e), disebabkan oleh udara

yang terjebak saat matriks meleleh mengikat *filler*, kemudian ditekan sehingga udara tersebut terjebak antara matriks. Warna hitam pada sebagian sisi spesimen seperti gambar 4.4 (a), disebabkan sisa-sisa batang padi pada penginjeksian spesimen sebelumnya yang masih melekat pada barel mengalami degradasi (hangus), dan sisa tersebut terbawa saat penginjeksian spesimen setelahnya. Sedangkan warna dominan putih pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 (e) merupakan warna dari serat gelas yang putih.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan dengan bertambahnya panjang serat mulai dari 1mm hingga 5mm. Kekuatan tarik komposit rata-rata tertinggi dicapai pada panjang serat 5mm sebesar $40,927 \text{ N/mm}^2$, $43,303 \text{ N/mm}^2$, $45,232 \text{ N/mm}^2$, $47,062 \text{ N/mm}^2$, $50,762 \text{ N/mm}^2$, untuk varian fraksi berat *hybrid* yang berbeda. Demikian juga dengan pengubahan fraksi berat *hybrid* serat *E-glass* dengan batang padi mulai dari perbandingan *hybrid* 0% hingga 100% *E-glass* mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit. Kekuatan tarik komposit rata-rata tertinggi dicapai pada fraksi berat *hybrid* serat *E-glass* dengan batang padi 100%:0%, sebesar $48,832 \text{ N/mm}^2$, $49,847 \text{ N/mm}^2$, $50,762 \text{ N/mm}^2$, untuk varian panjang serat yang berbeda.

5.2 Saran

1. Pemakaian *filler* dan matriks lain perlu diperhatikan lagi, agar didapatkan suatu komposit baru yang lebih berkualitas, hemat, dan berguna.
2. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan reaktan pengikat polimer termoplastik sehingga dapat meningkatkan kekuatannya.
3. Perlu diteliti variasi ukuran serat batang padi dalam komposit sehingga dapat diperoleh kekuatan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Advani, Suresh G. 2003. *Process Modeling in Composite Manufacturing*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Anderson, J.C. *et.al*. 1990. *Materials Science*. London: Chapman & Hall.
- Andre, Alan. 2001. *Fibre for Strengthening of Timber Structures*. Lulea University of Technology.
- ASTM D638-97. *Tensile Properties of Plastics*.
- Billmayer, Fred. 1984. *Textbook of Polymer Science*. New York: John Wiley.
- Carter, Giles F. 1991. *Material Science & Engineering*. USA : ASM International.
- Gibson, Robert. 1994. *Principles of Composites Material*. New York: Mc Graw Hill.
- Hifni, M, 1992. *Analisis Varian dan Penerapannya*, Malang: Kopma Press.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/rice>
- <http://tifac.org.in/news/news.htm>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/polypropylene/properties>
- Jastrzebski, Zbigniew D. 1987. *The Nature and Properties of Engineering Materials*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Jones, Robert M. 1999. *Mechanics of Composite Materials*. United States of America: Taylor & Francis.
- Karmaker, A.C. 1996. *Injection Molding of Polypropylene Reinforced with Short Jute Fibres*. University of Connecticut.
- Matthews, Rawlings. 1994. *Composite Material: Engineering and Science*. London: Chapman & Hall.
- Schaffer, James. 1999. *The Science And Design of Engineering Materials*. New York: Mc Graw-Hill.
- Smith, William F. 2004. *Foundation of Material Science and Engineering*. New York: Mc Graw Hill.
- Sulistiyono, Arief. 2006. *Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Kaca (Soda Lime Glass Particle) Sebagai Penguat Komposit Matrik Polypropylene terhadap Kekuatan Mekanik*. Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Mesin: Tidak Dipublikasikan.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Paramita
- Thwe, Liao. 2001. *Effect of Environmental Aging on The Mechanical Properties of Bamboo-glassfiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composite*. Nanyang Technological University.

LAMPIRAN 1
Pengujian Kekuatan Tarik

Panjang Serat	Spesimen Fraksi <i>Hybrid E-Glass</i> :Batang Padi 100%: 0 %											
	1				2				3			
	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)
1 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2150	25.6594	2	51	2100	25.0627	2	51	2050	24.4659	2
	52	2450	29.2398	4	52	2400	28.643	4	52	2350	28.0463	4
	53	2800	33.4169	6	53	2750	32.8201	6	53	2700	32.2234	6
	54	3150	37.594	8	54	3125	37.2956	8	54	3050	36.4005	8
	55	3400	40.5776	10	55	3400	40.5776	10	55	3250	38.7874	10
	56	3600	42.9646	12	56	3650	43.5613	12	56	3550	42.3678	12
	57	3825	45.6498	14	57	3900	46.5449	14	57	3800	45.3515	14
	58	4050	48.3351	16	58	4075	48.6335	16	58	3960	47.261	16
	59	4240	50.6027	18					59			
3 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	25.0627	2	51	2150	25.6594	2	51	2100	25.0627	2
	52	2300	27.4496	4	52	2350	28.0463	4	52	2325	27.7479	4
	53	2675	31.9251	6	53	2775	33.1185	6	53	2650	31.6267	6
	54	3150	37.594	8	54	3200	38.1907	8	54	3150	37.594	8
	55	3450	41.1744	10	55	3500	41.7711	10	55	3475	41.4727	10
	56	3725	44.4564	12	56	3750	44.7547	12	56	3700	44.158	12
	57	3900	46.5449	14	57	3950	47.1417	14	57	3900	46.5449	14
	58	4100	48.9319	16	58	4125	49.2302	16	58	4100	48.9319	16
	58.5	4150	49.5286	17	59	4210	50.2447	18	58.5	4170	49.7673	17
5 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2050	24.4659	2	51	2050	24.4659	2	51	2100	25.0627	2
	52	2300	27.4496	4	52	2300	27.4496	4	52	2350	28.0463	4
	53	2700	32.2234	6	53	2725	32.5218	6	53	2750	32.8201	6
	54	3100	36.9973	8	54	3100	36.9973	8	54	3150	37.594	8
	55	3450	41.1744	10	55	3475	41.4727	10	55	3500	41.7711	10
	56	4750	56.6893	12	56	4725	56.391	12	56	3750	44.7547	12
	57	3900	46.5449	14	57	3900	46.5449	14	57	3950	47.1417	14
	58	4100	48.9319	16	58	4100	48.9319	16	58	4125	49.2302	16
	59	4175	49.8269	18	59	4175	49.8269	18	59	4200	50.1253	18
	60	4225	50.4237	20	60	4225	50.4237	20	60	4275	51.0204	20
									61	4310	51.4381	22

Panjang Serat	Spesimen Fraksi <i>Hybrid E-Glass</i> :Batang Padi 75%: 25 %											
	1				2				3			
	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)
1 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	25.0627	2	51	2100	25.0627	2	51	2050	24.4659	2
	52	2350	28.0463	4	52	2375	28.3447	4	52	2300	27.4496	4
	53	2725	32.5218	6	53	2700	32.2234	6	53	2625	31.3283	6
	54	3050	36.4005	8	54	3000	35.8038	8	54	2950	35.2071	8
	55	3300	39.3842	10	55	3275	39.0858	10	55	3300	39.3842	10
	56	3550	42.3678	12	56	3550	42.3678	12	56	3560	42.4872	12

	56.5	3620	43.2032	13	56.5	3630	43.3226	13				
3 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2050	24.4659	2	51	2100	25.0627	2	51	2100	25.0627	2
	52	2350	28.0463	4	52	2400	28.643	4	52	2375	28.3447	4
	53	2750	32.8201	6	53	2775	33.1185	6	53	2750	32.8201	6
	54	3200	38.1907	8	54	3175	37.8923	8	54	3200	38.1907	8
	55	3600	42.9646	10	55	3600	42.9646	10	55	3600	42.9646	10
	56	3675	43.8596	12	56	3700	44.158	12	56	3700	44.158	12
	57	3730	44.5161	14	57	3750	44.7547	14	57	3750	44.7547	14
					57.5	3775	45.0531	15	57.5	3775	45.0531	15
5 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	25.0627	2	51	2050	24.4659	2	51	2100	25.0627	2
	52	2350	28.0463	4	52	2350	28.0463	4	52	2400	28.643	4
	53	2750	32.8201	6	53	2750	32.8201	6	53	2775	33.1185	6
	54	3100	36.9973	8	54	3075	36.6989	8	54	3150	37.594	8
	55	3400	40.5776	10	55	3400	40.5776	10	55	3450	41.1744	10
	56	3625	43.2629	12	56	3600	42.9646	12	56	3700	44.158	12
	57	3800	45.3515	14	57	3750	44.7547	14	57	3875	46.2466	14
	58	3930	46.903	16	58	3860	46.0675	16	58	3950	47.1417	16
									59	4040	48.2158	18
Panjang Serat	Spesimen Fraksi Hybrid E-Glass: Batang Padi 50%: 50 %											
	1				2				3			
	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)
1 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	25.0627	2	51	2100	25.0627	2	51	2100	25.0627	2
	52	2425	28.9414	4	52	2400	28.643	4	52	2375	28.3447	4
	53	2750	32.8201	6	53	2700	32.2234	6	53	2700	32.2234	6
	54	3100	36.9973	8	54	3050	36.4005	8	54	3000	35.8038	8
	55	3310	39.5035	10	55	3300	39.3842	10	55	3250	38.7874	10
					55.5	3450	41.1744	11	55.5	3330	39.7422	11
3 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	25.0627	2	51	1950	23.2725	2	51	2100	25.0627	2
	52	2400	28.643	4	52	2150	25.6594	4	52	2425	28.9414	4
	53	2800	33.4169	6	53	2600	31.03	6	53	2800	33.4169	6
	54	3200	38.1907	8	54	2950	35.2071	8	54	3250	38.7874	8
	55	3550	42.3678	10	55	3250	38.7874	10	55	3625	43.2629	10
	56	3675	43.8596	12	55.5	3490	41.6517	11	56	3675	43.8596	12
	57	3710	44.2774	14					57	3730	44.5161	14
5 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2050	24.4659	2	51	2150	25.6594	2	51	2050	24.4659	2
	52	2425	28.9414	4	52	2450	29.2398	4	52	2375	28.3447	4
	53	2850	34.0136	6	53	2850	34.0136	6	53	2800	33.4169	6
	54	3300	39.3842	8	54	3300	39.3842	8	54	3275	39.0858	8
	55	3650	43.5613	10	55	3625	43.2629	10	55	3600	42.9646	10
	56	3725	44.4564	12	56	3700	44.158	12	56	3700	44.158	12
	57	3790	45.2321	14	57	3750	44.7547	14	57	3780	45.1128	14
					58	3800	45.3515	16				

Panjang Serat	Spesimen Fraksi Hybrid E-Glass:Batang Padi 25%: 75 %											
	1				2				3			
	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)
1 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2000	23.8692	2	51	1950	23.2725	2	51	1900	22.6757	2
	52	2350	28.0463	4	52	2300	27.4496	4	52	2200	26.2561	4
	53	2675	31.9251	6	53	2650	31.6267	6	53	2500	29.8365	6
	54	3000	35.8038	8	54	2975	35.5054	8	54	2800	33.4169	8
	55	3200	38.1907	10	55	3150	37.594	10	55	3040	36.2812	10
	55.5	3250	38.7874	11								
3 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2000	23.8692	2	51	1900	22.6757	2	51	1950	23.2725	2
	52	2250	26.8528	4	52	2200	26.2561	4	52	2250	26.8528	4
	53	2750	32.8201	6	53	2500	29.8365	6	53	2750	32.8201	6
	54	3000	35.8038	8	54	2775	33.1185	8	54	3050	36.4005	8
	55	3250	38.7874	10	55	3150	37.594	10	55	3200	38.1907	10
	56	3450	41.1744	12	56	3460	41.2937	12	56	3425	40.876	12
	56.5	3660	43.6806	13					56.5	3640	43.4419	13
5 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	1950	23.2725	2	51	1950	23.2725	2	51	2050	24.4659	2
	52	2150	25.6594	4	52	2250	26.8528	4	52	2350	28.0463	4
	53	2600	31.03	6	53	2750	32.8201	6	53	2800	33.4169	6
	54	2950	35.2071	8	54	3050	36.4005	8	54	3100	36.9973	8
	55	3300	39.3842	10	55	3400	40.5776	10	55	3550	42.3678	10
	56	3450	41.1744	12	56	3525	42.0695	12	56	3675	43.8596	12
	56.5	3525	42.0695	13	56.5	3600	42.9646	13	57	3760	44.8741	14

Panjang Serat	Spesimen Fraksi Hybrid E-Glass:Batang Padi 0%:100%											
	1				2				3			
	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)	L (mm)	P (N)	σ (N/mm ²)	ϵ (%)
1 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	23.1309	2	51	2200	24.4139	2	51	2100	23.3042	2
	52	2350	25.8846	4	52	2300	25.5237	4	52	2250	24.9688	4
	53	2600	28.6383	6	53	2650	29.4077	6	53	2500	27.7431	6
	54	2950	32.4935	8	54	3000	33.2917	8	54	2850	31.6271	8
	55	3200	35.2471	10	55	3200	35.5112	10	55	3000	33.2917	10
	55.5	3250	35.7979	11					56	3200	35.5112	12
3 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2000	22.1957	2	51	1900	20.2922	2	51	2000	22.8535	2
	52	2350	26.0800	4	52	2300	24.5643	4	52	2400	27.4242	4
	53	2650	29.4093	6	53	2850	30.4383	6	53	2750	31.4235	6
	54	3000	33.2936	8	54	3350	35.7784	8	54	3100	35.4229	8
	55	3350	37.1778	10	55	3600	38.4484	10	55	3300	37.7083	10

	56	3550	39.3974	12	55.5	3650	38.9824	11	56	3400	38.8509	12
									57	3450	39.4223	14

5 mm	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0
	51	2100	22.0062	2	51	2100	24.8262	2	51	2100	23.0167	2
	52	2700	28.2937	4	52	2500	29.5550	4	52	2500	27.4009	4
	53	3250	34.0573	6	53	3000	35.4660	6	53	3100	33.9771	6
	54	3650	38.2489	8	54	3300	39.0126	8	54	3250	35.6211	8
	55	3850	40.3448	10	55	3450	40.7859	10	55	3650	40.0053	10
					55.5	3450	40.7859	11	56	3800	41.6493	12

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



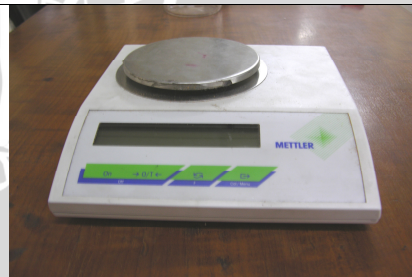
LAMPIRAN 2

No	X ₁	X ₂	Y	y	(Y-Ŷ) ²	(Y-y) ²	Ŷ
1	1	1	35.79788	35.61802	59.52674	62.334468	43.51324
2	1	1	35.511167	35.61802	64.03313	62.334468	43.51324
3	1	1	35.511167	35.61802	64.03313	62.334468	43.51324
4	1	2	38.787445	37.64787	22.33311	34.402476	43.51324
5	1	2	37.593985	37.64787	35.03755	34.402476	43.51324
6	1	2	36.281179	37.64787	52.30266	34.402476	43.51324
7	1	3	39.503521	40.35264	16.07783	9.9893995	43.51324
8	1	3	41.174364	40.35264	5.470325	9.9893995	43.51324
9	1	3	39.742213	40.35264	14.22062	9.9893995	43.51324
10	1	4	43.203246	43.7323	0.096094	0.0479898	43.51324
11	1	4	43.322592	43.7323	0.036345	0.0479898	43.51324
12	1	4	42.48717	43.7323	1.052813	0.0479898	43.51324
13	1	5	50.602697	47.78688	50.26045	18.263986	43.51324
14	1	5	48.633488	47.78688	26.21697	18.263986	43.51324
15	1	5	47.26101	47.78688	14.0458	18.263986	43.51324
16	3	1	39.397386	39.49274	16.94023	16.164422	43.51324
17	3	1	38.982399	39.49274	20.52849	16.164422	43.51324
18	3	1	39.422264	39.49274	16.73606	16.164422	43.51324
19	3	2	43.68063	41.09901	0.02802	5.8285151	43.51324
20	3	2	41.29371	41.09901	4.926298	5.8285151	43.51324
21	3	2	43.441938	41.09901	0.005084	5.8285151	43.51324
22	3	3	44.27736	43.38018	0.583884	0.0177043	43.51324
23	3	3	41.651748	43.38018	3.46514	0.0177043	43.51324
24	3	3	44.516052	43.38018	1.005638	0.0177043	43.51324
25	3	4	44.516052	46.33626	1.005638	7.9694546	43.51324
26	3	4	45.053109	46.33626	2.371206	7.9694546	43.51324
27	3	4	45.053109	46.33626	2.371206	7.9694546	43.51324
28	3	5	49.528583	49.96724	36.18439	41.654216	43.51324
29	3	5	50.244659	49.96724	45.31205	41.654216	43.51324
30	3	5	49.767275	49.96724	39.11299	41.654216	43.51324
31	5	1	40.344764	41.74191	10.03922	3.1375985	43.51324
32	5	1	40.785927	41.74191	7.43822	3.1375985	43.51324
33	5	1	41.649313	41.74191	3.474214	3.1375985	43.51324
34	5	2	42.069459	42.92459	2.084494	0.3465034	43.51324
35	5	2	42.964554	42.92459	0.301053	0.3465034	43.51324
36	5	2	44.87409	42.92459	1.851921	0.3465034	43.51324
37	5	3	45.232128	44.78218	2.954586	1.6102131	43.51324
38	5	3	45.351474	44.78218	3.379115	1.6102131	43.51324
39	5	3	45.112782	44.78218	2.558544	1.6102131	43.51324
40	5	4	46.902972	47.31467	11.4903	14.450904	43.51324
41	5	4	46.06755	47.31467	6.524514	14.450904	43.51324
42	5	4	48.215778	47.31467	22.11389	14.450904	43.51324
43	5	5	50.423678	50.52207	47.7542	49.123738	43.51324
44	5	5	50.423678	50.52207	47.7542	49.123738	43.51324
45	5	5	51.438119	50.52207	62.80376	49.123738	43.51324
Σ	135	135	1958.096	1958.096	847.8421	796.02477	1958.096

LAMPIRAN 3

Alat dan Bahan yang Digunakan

- Alat yang Digunakan

Cetakan Spesimen Uji TarikInjection MoldingJangka SorongGergajiCutterTimbangan Digital



Alat Uji Tarik



Mesin Ayak Rotab

- **Bahan yang Digunakan**



Serat batang padi dan Polypropylene



Merk : Chemetals
Kekuatan Tarik : 2,2 GPa
Densitas : 2,54 g/cm³