

**PENGARUH FRAKSI VOLUME Al_2O_3 DAN TEMPERATUR
INJEKSI TERHADAP KEKUATAN TARIK
KOMPOSIT POLIPROPILEN**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

HERMANZAH TEDY SARWOTO
NIM. 0210620061-62

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

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Fraksi Volume Al₂O₃ Dan Temperatur Injeksi Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polipropilen**” dapat terselesaikan dengan baik.

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. Kedua orang tua dan kakak-kakakku yang tercinta yang telah memberikan dukungan semangat, materi dan doanya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Wardi Kasim, MT dan Bapak Moch. Syamsul Ma'arif, ST. MT selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT selaku Ketua Jurusan dan Bapak Cjuk Oerbandono, ST.,CSE selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Winarno Yahdi A., MT selaku Ketua Laboratorium Pengecoran Logam.
6. Teman-temanku seperjuangan Muchlasin, M. Ali R., Atak H., Didik H., Yudi W. Serta teman-teman di asrama kopma Rofik S., Mas Gun, Akbar (daun muda), Agus, Furos, Faruk, Dibi terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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

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

Malang, 2 Agustus 2007

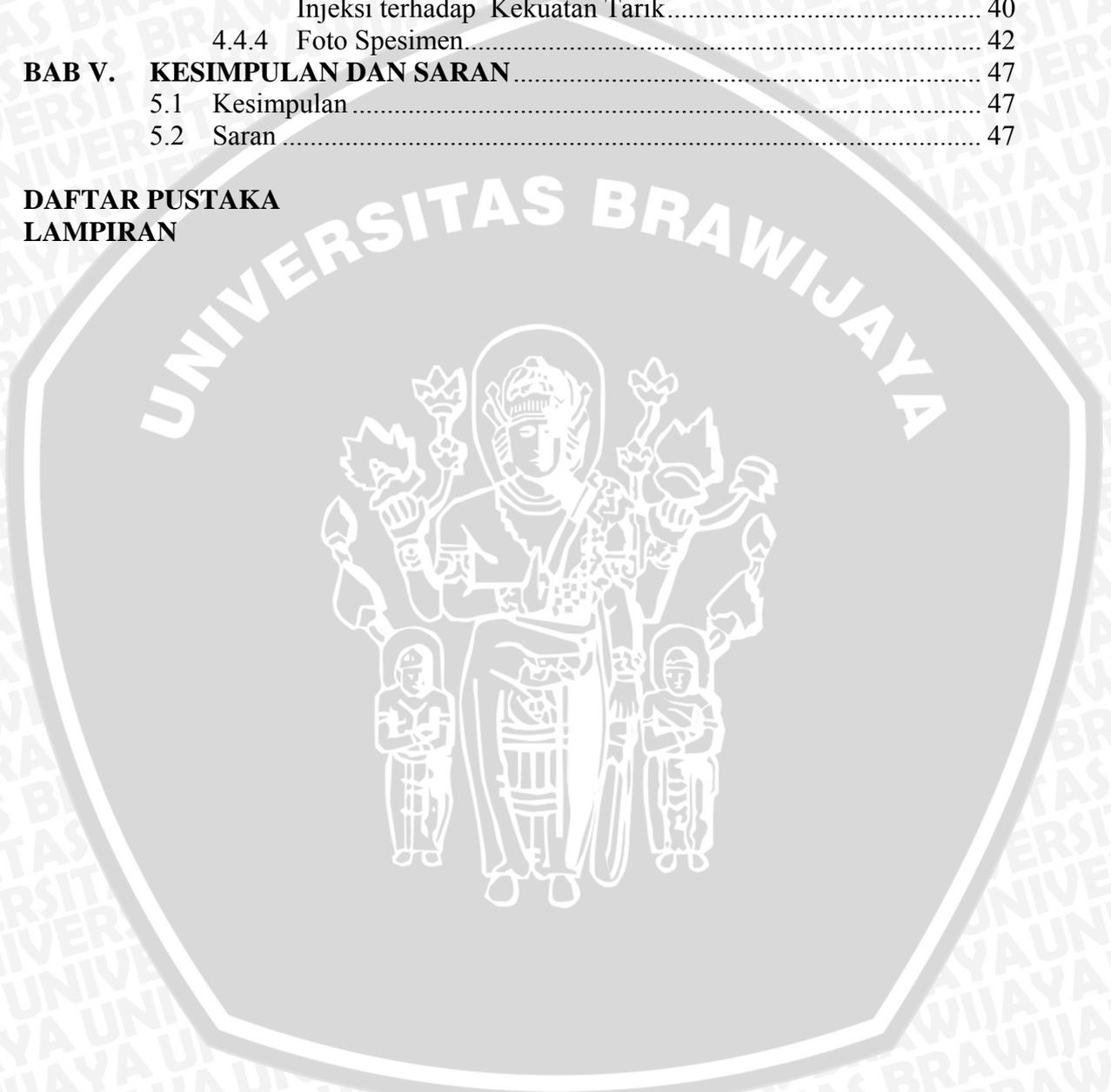
DAFTAR ISI

	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	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	3
2.2 Pengertian Komposit.....	3
2.3 Klasifikasi Komposit	4
2.4 Matrik Komposit.....	7
2.4.1 Termoset	8
2.4.2 Termoplastik	9
2.4.3 Elastomer	13
2.5 Penguat.....	14
2.6 Teori Ikatan Matrik dan Penguat	14
2.7 Metode Pembuatan Komposit Polimer	16
2.8 Temperatur Penginjeksian	15
2.9 Tegangan Regangan Bahan Polimer.....	18
2.9.1 Teori Dasar Pengujian Tarik.....	20
2.9.2 <i>Rule Of Mixture vs Hybrid Effect</i>	21
2.10 Hipotesis	21
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Metode Penelitian	22
3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan	22
3.5 Prosedur Penelitian	23
3.6 Metode Pengujian Kekuatan Tarik	24
3.7 Rancangan Penelitian.....	25
3.8 Analisis Statistik	25
3.8.1 Analisa Kecukupan Data	25
3.8.2 Analisa Varian	27
3.9 Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Hasil Pengujian	31



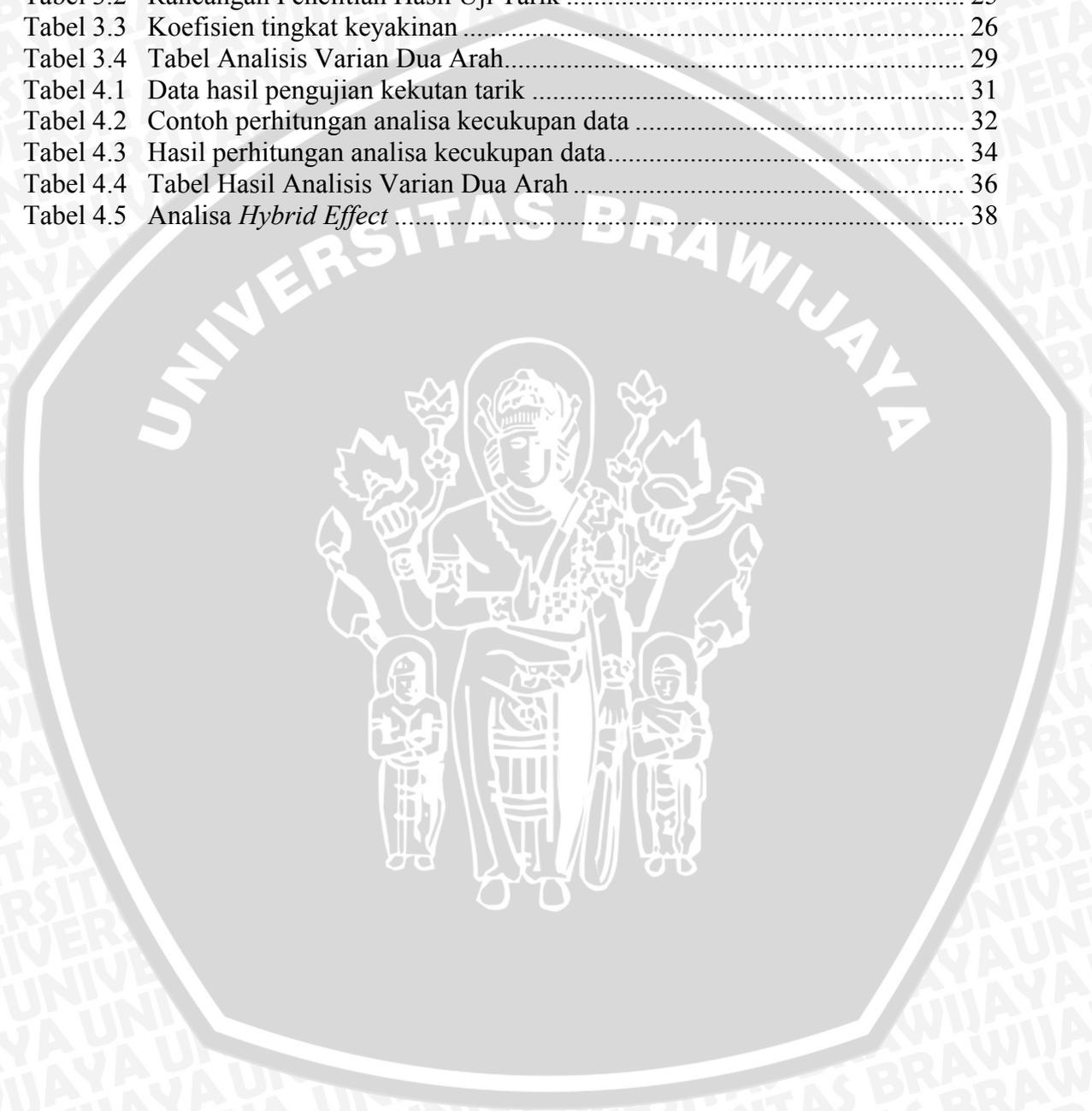
4.2	Analisis Kecukupan Data.....	31
4.3	Analisis Varian	34
4.4	Pembahasan	36
4.4.1	Analisa Hubungan antara Fraksi Volume dengan Kekuatan Tarik.....	37
4.4.2	Analisa Hubungan antara Temperatur Injeksi dengan Kekuatan Tarik.....	39
4.4.3	Analisa Hubungan Interaksi Fraksi Volume dan Temperatur Injeksi terhadap Kekuatan Tarik.....	40
4.4.4	Foto Spesimen.....	42
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat mekanik Al ₂ O ₃	14
Tabel 3.1	Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik	24
Tabel 3.2	Rancangan Penelitian Hasil Uji Tarik	25
Tabel 3.3	Koefisien tingkat keyakinan	26
Tabel 3.4	Tabel Analisis Varian Dua Arah	29
Tabel 4.1	Data hasil pengujian kekutan tarik	31
Tabel 4.2	Contoh perhitungan analisa kecukupan data	32
Tabel 4.3	Hasil perhitungan analisa kecukupan data	34
Tabel 4.4	Tabel Hasil Analisis Varian Dua Arah	36
Tabel 4.5	Analisa <i>Hybrid Effect</i>	38



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema penyusunan metode (a) <i>Continuous fibres, unidirectional</i> (b) <i>Discontinuous fibres, unidirectional</i> dan (c) <i>Discontinuous fibres, random</i>	5
Gambar 2.2	Komposit Partikel	6
Gambar 2.3	Komposit Berlapis	6
Gambar 2.4	Simbol Resin Polipropilen	10
Gambar 2.5	<i>Short segments</i> dari polipropilen	10
Gambar 2.6	<i>Mechanical Bonding</i>	15
Gambar 2.7	<i>Electrostatic Bonding</i>	15
Gambar 2.8	<i>Reaction Bonding</i>	15
Gambar 2.9	Bagian-Bagian Mesin <i>Injection Molding</i>	17
Gambar 2.10	Kelakuan mulur dalam kurva tegangan-regangan	19
Gambar 3.1	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik	24
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara fraksi volume dengan kekuatan tarik	37
Gambar 4.2	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 240 ⁰ C .	38
Gambar 4.3	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 240 ⁰ C .	38
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara temperatur dengan kekuatan tarik	39
Gambar 4.5	Spesimen uji tarik pada temperatur 220 ⁰ C (fraksi volume 10%)	40
Gambar 4.6	Spesimen uji tarik pada temperatur 230 ⁰ C (fraksi volume 10%)	40
Gambar 4.7	Spesimen uji tarik pada temperatur 240 ⁰ C (fraksi volume 10%)	40
Gambar 4.8	Spesimen uji tarik pada temperatur 230 ⁰ C (fraksi volume 10%)	40
Gambar 4.9	Grafik hubungan interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi dengan kekuatan tarik	41
Gambar 4.10	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 220 ⁰ C ...	42
Gambar 4.11	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 220 ⁰ C ...	42
Gambar 4.12	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 220 ⁰ C .	42
Gambar 4.13	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 220 ⁰ C .	43
Gambar 4.14	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 230 ⁰ C ...	43
Gambar 4.15	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 230 ⁰ C ...	43
Gambar 4.16	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 230 ⁰ C .	43
Gambar 4.17	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 230 ⁰ C .	44
Gambar 4.18	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 240 ⁰ C ...	44
Gambar 4.19	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 240 ⁰ C ...	44
Gambar 4.20	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 240 ⁰ C .	44
Gambar 4.21	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 240 ⁰ C .	45
Gambar 4.22	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 250 ⁰ C ...	45
Gambar 4.23	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 250 ⁰ C ...	45
Gambar 4.24	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 250 ⁰ C .	45
Gambar 4.25	Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 250 ⁰ C .	46

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel-F
Lampiran 2	Alat dan Bahan yang Digunakan



RINGKASAN

HERMANZAH TEDY SARWOTO, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh Fraksi Volume Al_2O_3 dan Temperatur Injeksi terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polipropilen*, Dosen Pembimbing : Ir. Wardi Kasim, MT dan Moch. Syamsul Ma'arif, ST. MT.

Material komposit merupakan terobosan baru dalam bidang teknik material, dalam hal ini adalah *Polimer Matrix Composites (PMCs)*. Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat-sifat istimewa yang sulit didapat dari logam, sehingga komposit menjadi bahan rujukan. Pada dasarnya komposit merupakan gabungan 2 atau lebih material yang memiliki sifat mekanik berbeda disusun secara makroskopis yang didalamnya terdapat matrik sebagai pengikat dan penguat.

Polipropilen (*PP*) merupakan salah satu jenis resin plastik yang dapat didaur ulang secara termal karena resin ini bersifat termoplastik dan material ini sangat ringan karena densitasnya yang rendah yaitu sebesar $0,928 \text{ g/cm}^3$ sedangkan kekakuan dan kekuatannya baik dibanding beberapa resin termoplastik lain. Al_2O_3 merupakan keramik yang mempunyai harga jual yang rendah, tetapi memiliki sifat ketahanan aus, ketahanan asam, konduktivitas termal, kemampuan bentuk, kekuatan dan kekerasan yang tinggi sehingga cocok dijadikan sebagai penguat.

Kekuatan tarik komposit secara teoritis berdasarkan *rule of mixture* diperoleh dengan menjumlahkan kekuatan tarik matrik polipropilen dikalikan fraksi volumenya dan kekuatan tarik penguat Al_2O_3 dikalikan fraksi volumenya. Untuk menentukan apakah penguat Al_2O_3 sesuai dengan jenis matrik polipropilen maka dipakai analisa *hybrid effect* dengan cara membandingkan nilai perhitungan (teoritis) dan nilai pengujian (aktual). Fraksi volume Al_2O_3 yang dipakai dalam analisa *hybrid effect* ini yaitu 5%, 10% dan 15% sedangkan fraksi volume 0% digunakan sebagai basis dalam perhitungan.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang material komposit yang menggunakan Al_2O_3 sebagai material penguat dan polipropilen sebagai matriknya terhadap kekuatan tarik komposit.

Dalam penelitian ini variasi yang digunakan adalah fraksi volume Al_2O_3 sebanyak 4 perlakuan yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan temperatur injeksi juga sebanyak 4 perlakuan yaitu 220°C , 230°C , 240°C , 250°C dengan pengulangan sebanyak 3.

Dari hasil pengolahan data penelitian dan pembahasan didapatkan bahwa kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan dengan bertambahnya fraksi volume Al_2O_3 mulai 0 % sampai 5 % kemudian mengalami penurunan yang terus-menerus sampai fraksi volume Al_2O_3 15 %. Kekuatan tarik komposit tertinggi dicapai pada fraksi volume Al_2O_3 5 % pada temperatur injeksi 220°C sebesar $37,73 \text{ N/mm}^2$. Dari analisa *hybrid effect* diketahui bahwa Al_2O_3 memberikan efek negatif terhadap matrik polipropilen, hal ini terbukti dari nilai aktual yang lebih rendah daripada nilai teoritisnya dari fraksi volume 5%, 10% dan 15% untuk setiap variasi temperatur. Dan kekuatan tarik komposit mengalami penurunan dengan semakin tingginya temperatur injeksi untuk setiap variasi fraksi volume. Interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi tidak memberikan pengaruh yang nyata.

Kata kunci : Komposit, Polipropilen, Al_2O_3 , Fraksi Volume, Temperatur Injeksi, Kekuatan Tarik

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini disaat berkembangnya IPTEK yang sedemikian pesat banyak bermunculan material baru. Sehingga material konvensional banyak yang tergantikan. Salah satu material baru yang populer saat ini adalah material komposit. Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat-sifat istimewa yang sulit didapat dari logam. Komposit merupakan material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Material komposit adalah gabungan dari penguat (*reinforcement*) dan matrik.

Keuntungan menggunakan material komposit :

- Bobot relatif ringan jika dibandingkan dengan material logam tetapi memiliki kekuatan yang hampir sama
- Tahan terhadap korosi
- Biaya produksi relatif rendah
- Tidak sensitif terhadap bahan kimia

(Schwartz Mel M, 1996:5)

Polipropilen merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai kemasan makanan dan minuman, peralatan rumah tangga, komponen kendaraan. Polipropilen mempunyai keunggulan yaitu dapat didaur ulang secara termal karena resin ini bersifat termoplastik sehingga limbah plastik polipropilen dapat dimanfaatkan kembali agar mempunyai nilai lebih. Selain itu polipropilen merupakan material yang sangat ringan karena densitasnya yang rendah yaitu sebesar $0,928 \text{ g/cm}^3$.

Alumina atau Al_2O_3 merupakan keramik yang mempunyai harga jual yang rendah, tetapi memiliki sifat ketahanan aus, ketahanan asam, konduktivitas termal, kemampuan bentuk, kekuatan dan kekerasan yang tinggi.

Dari beberapa uraian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang material komposit yang tersusun dari pencampuran secara makroskopis 2 material yaitu polipropilen sebagai matrik dan Al_2O_3 sebagai penguat. Pencampuran kedua material tersebut akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat mekanik yang berbeda dari material pembentuknya. Sifat mekanik yang akan diperoleh dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik dari material tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dikemukakan adalah pengaruh fraksi volume Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik komposit polipropilen.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan memudahkan di dalam menganalisa data, maka diperlukan adanya batasan masalah, yaitu :

1. Proses yang digunakan adalah proses *Injection Molding*
2. Campuran yang digunakan adalah polipropilen dan Al_2O_3
3. Dimensi produk sudah ditentukan menurut standart ASTM D638-97
4. Ukuran butir yang dipakai antara diameter 63 μm dan 71 μm
5. Perbandingan di dalam material komposit antara penguat dan matrik menggunakan fraksi volume

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi dari fraksi volume Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik komposit polipropilen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Meningkatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang teknik material.
2. Dapat mengurangi pencemaran lingkungan dengan menggunakan polipropilen yang dapat didaur ulang.
3. Diperoleh material yang murah tetapi memiliki kemampuan mekanik yang baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Bose, *et.al* (2004) meneliti pengaruh ukuran partikel pengisi terhadap sifat *nylon-6*. Dalam penelitiannya yang menggunakan partikel *mica* sebagai penguat dan *nylon-6* sebagai matriknya, dihasilkan bahwa semakin besar ukuran butir dalam penambahan konsentrasi *mica* dalam *nylon-6* menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang signifikan dari komposit.

Prasetyo, Eko (2006) meneliti pengaruh fraksi volume serbuk kayu dan temperatur penginjeksian terhadap sifat mekanik komposit plastik serbuk kayu pada proses injeksi. Hasil penelitian menunjukkan semakin meningkatnya temperatur penginjeksian dan semakin kecilnya fraksi volume maka kekuatan tarik komposit akan semakin meningkat.

Darmawan, Agung (2006) meneliti pengaruh penggunaan *bagasse* sebagai penguat komposit matrik polipropilen terhadap *tensile strength* dan *melting temperature*-nya. Hasil penelitian menunjukkan *tensile strength* (kekuatan tarik) komposit mengalami peningkatan dengan bertambahnya fraksi volume *bagasse* mulai 10 % sampai 30 % kemudian mengalami penurunan apabila fraksi volume *bagasse* ditambah hingga 50 %. *Tensile strength* komposit rata-rata tertinggi dicapai pada fraksi volume *bagasse* 30 % sebesar 34,689 N/mm² dan *melting temperature* (temperatur leleh) komposit tidak berubah secara signifikan dengan bertambahnya fraksi volume *bagasse* hingga 50 %.

2.2 Pengertian Komposit

Secara umum material komposit atau biasa disebut komposit dapat didefinisikan sebagai dua macam atau lebih material yang digabungkan atau dikombinasikan dalam skala makroskopis sehingga menjadi material baru yang lebih berguna. Skala makroskopis tersebut mempunyai arti bahwa komponen penyusun komposit, baik material pengikat atau matrik maupun material penguat, dapat diidentifikasi secara langsung oleh mata telanjang (Jones, 1999 : 2). Komposit disusun oleh dua atau lebih material yang mempunyai karakteristik dan sifat mekanik yang berbeda, juga dalam komposisi kimia dan tidak saling melarutkan antara material penyusun yang terdiri dari matrik dan penguat. Sehingga dari kombinasi ini dihasilkan sebuah material baru yang

mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. **Penguat** (reinforcement), yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih kaku serta lebih kuat.
2. **Matrik**, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

Keuntungan penggunaan material komposit adalah (Schwartz, 1996 : 5) :

- a. Densitasnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik
- b. Hasil akhir yang baik
- c. Biaya produksi lebih murah
- d. Umur pemakaian lama
- e. Tahan terhadap korosi

Kekurangan dari material komposit adalah :

- a. Komposit tertentu peka terhadap perubahan temperatur yang drastis
- b. beberapa bahan penyusun komposit mudah terbakar
- c. Perbaikan bila terjadi kerusakan lebih sulit

Mengacu pada pengertian di atas, komposit Al_2O_3 polipropilen adalah komposit yang terbuat dari polipropilen sebagai matrik dan Al_2O_3 sebagai penguat, yang mempunyai sifat gabungan keduanya. Penambahan penguat ke dalam matrik bertujuan mengurangi densitas, meningkatkan kekakuan, dan meningkatkan kekuatan.

2.3 Klasifikasi Komposit

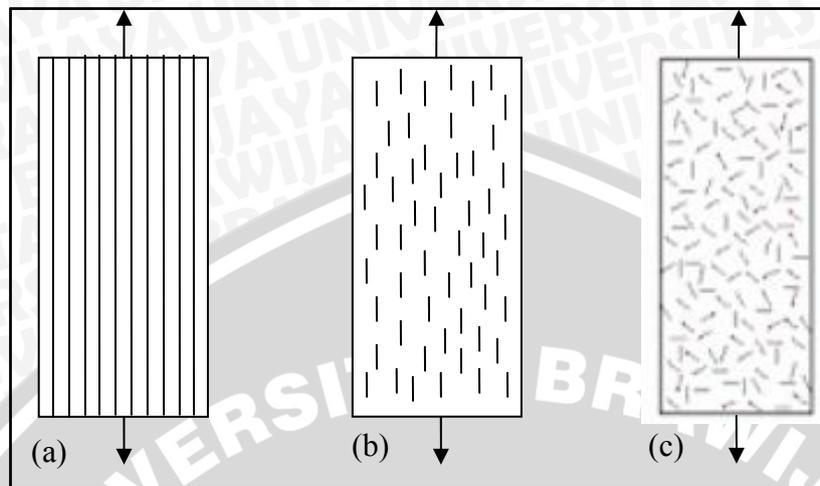
Pada umumnya bahan komposit dibagi menjadi tiga yaitu komposit serat, komposit berlapis dan komposit partikel.

1. Komposit Serat

Komposit serat terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matrik dan serat. Matrik berfungsi sebagai perekat atau pemegang serat, melindungi serat dari kerusakan eksternal, dan sebagai pendistribusi beban yang dikenakan pada material komposit ke serat. Sedangkan serat berfungsi sebagai penguat matrik.

Di dalam komposit, serat disusun dengan berbagai macam skema untuk menentukan sifat mekaniknya. Skema penyusunan serat juga menentukan kemudahan proses pembuatan material komposit. Anderson, *et.al* (1990 : 328) menyatakan bahwa terdapat tiga skema penyusunan serat pada material komposit serat (Gambar 2.1), yaitu :

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



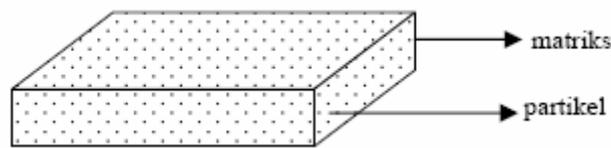
Gambar 2.1 Skema penyusunan metode (a) *Continuous fibres, unidirectional*, (b) *Discontinuous fibres, unidirectional* dan (c) *Discontinuous fibres, random*

Sumber : Anderson *et.al*, 1990 : 32

2. Komposit Partikel

Komposit jenis ini menggunakan penguat yang berbentuk partikel/butiran (gambar 2.2). Partikel disini adalah bukan serat karena tidak mempunyai panjang. Bahan penguat yang berbentuk partikel umumnya memiliki ukuran yang hampir sama di segala arah. Bentuk dari penguat partikel dapat berupa spiral, kubik, pelat, bentuk teratur, ataupun bentuk-bentuk yang tidak teratur. Penyusunan bahan komposit dengan penguat partikel dapat berbentuk acak ataupun teratur dan karakter ini juga dapat digunakan sebagai bagian dari skema pangelompokan material komposit dengan penguat yang berbentuk partikel. Komposit dengan penguat partikel biasanya mempunyai keliatan lebih lemah jika dibandingkan dengan komposit diperkuat serat, tetapi komposit dengan penguat partikel ini mempunyai ketahanan aus yang tinggi jika dibandingkan dengan komposit yang diperkuat dengan serat. Partikel berupa logam atau non logam dapat digunakan sebagai penguat. Empat kombinasi yang dapat digunakan sebagai material komposit partikel yaitu :

- Material komposit partikel non logam di dalam matrik non logam
- Material komposit partikel logam di dalam matrik non logam
- Material komposit partikel logam di dalam matrik logam
- Material komposit partikel non logam di dalam matrik logam



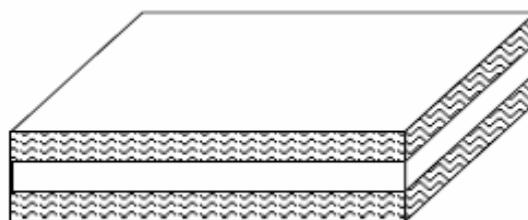
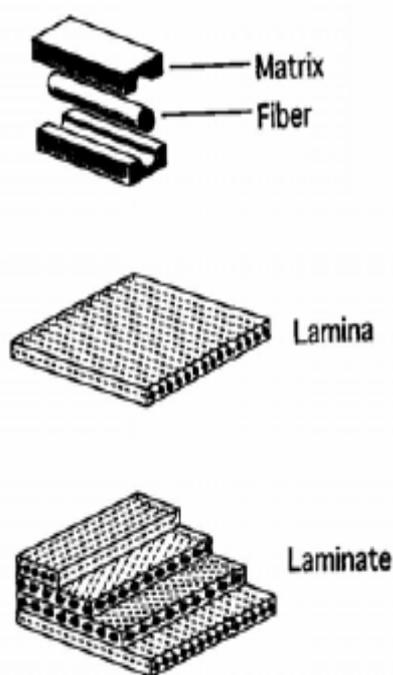
Gambar 2.2 Komposit Partikel
 Sumber : Antonia Yulian Taurista *et.al*

3. Komposit Berlapis

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 lapis dibentuk dari lapisan-lapisan lamina dengan berbagai macam penyusunan arah serat yang telah ditentukan yang disebut *laminata*, ditunjukkan gambar 2.3. Beberapa sifat yang dapat ditingkatkan dengan adanya proses pelapisan antara lain kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan aus, isolasi termal dan peredaman suara.

Yang termasuk material komposit berlapis yaitu :

- *Bimetals*
- *Cladmetals*
- *Laminated Glass*
- *Plastic-Based Laminates*



Gambar 2.3 Komposit Berlapis
 Sumber : Antonia Yulian Taurista *et.al*

2.4 Matrik Komposit

Salah satu komponen penyusun komposit adalah matrik. Matrik merupakan unsur pada komposit yang bertindak sebagai perekat yang menyatukan dan melindungi penguat. Matrik komposit secara umum ada tiga yaitu polimer, logam dan keramik.

Matrik dalam material komposit mempunyai peran sebagai berikut (Schwartz, 1996 : 44) :

1. Sebagai bahan pengikat serat atau partikel penguat
2. Mendistribusikan beban yang dikenakan pada material komposit kepada penguat
3. Melindungi penguat dari kerusakan eksternal seperti pengausan secara mekanik
4. Melindungi penguat dari lingkungan yang kurang baik

Karakteristik dari matriks biasanya mempunyai densitas, kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah daripada penguat. Kemudian dengan penggabungan antara penguat dan matriks akan didapatkan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi tetapi masih mempunyai densitas yang rendah. Pada abad XXI ini banyak komposit yang menggunakan matrik polimer, yang lebih dikenal dengan *Polymer Matrix Composites* karena dapat diaplikasikan secara luas, lebih mudah diproduksi dalam jumlah besar, mempunyai bentuk yang kompleks dan dapat digunakan dalam dunia penerbangan maupun penggunaan secara umum. Polimer dibangun oleh satuan struktur (monomer) yang tersusun secara berulang dan diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron. Bahan polimer mempunyai berat molekul besar. Bahan yang mempunyai berat molekul rendah berubah menjadi cair dengan viskositas rendah atau menguap jika dipanaskan, sedangkan polimer mencair dengan sangat kental dan tidak menguap. Bahan polimer pada umumnya mempunyai sifat-sifat khas sebagai berikut (Tata Surdia, 1995 : 173):

- a. Mampu cetak baik. Pada temperatur yang relatif rendah bahan dapat dicetak dengan injeksi, penekanan, ekstrusi dan seterusnya, yang menyebabkan ongkos pembuatan lebih rendah daripada logam dan keramik.
- b. Produk ringan dan kuat dapat dibuat. Berat jenis polimer paling rendah dibandingkan dengan logam dan keramik.
- c. Bersifat isolasi listrik yang baik
- d. Baik sekali dalam ketahanan air dan kimia

- e. Lebih murah
- f. Kurang tahan terhadap panas
- g. Kekerasan permukaan yang sangat kurang
- h. Beberapa bahan tahan abrasi

Secara umum polimer diklasifikasikan menjadi 3 golongan utama (<http://en.wikipedia.org>), yaitu :

1. Termoset
2. Termoplastik
3. Elastomer

2.4.1 Termoset

Resin termoset terbentuk dengan jaringan struktur molekul ikatan kovalen. 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 akan mencair dan kemudian 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, hal tersebut menjadi kekurangan bagi resin ini karena tidak dapat didaur ulang. Beberapa macam resin termoset yaitu :

a. Resin fenol

Resin ini merupakan resin termoset pertama yang banyak digunakan didalam dunia industri. Resin fenol terbuat melalui reaksi antara fenol dan formaldehida dengan proses kondensasi. Karena mempunyai struktur *cross-linked* sehingga mempunyai sifat kekerasan yang tinggi, kekakuan yang baik dan kekuatan yang dikombinasikan dengan ketahanan panas, ketahanan kimia serta kemampuan isolasi listrik yang baik.

b. Epoksi

Epoksi mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listrik, mekanik dan sipil sebagai sebagai perekat, cat pelapis, pencetakan cor dan benda-benda cetakan karena sifatnya yang lebih unggul dibandingkan dengan resin lainnya, antara lain kekuatan tarik serta kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap bahan kimia, sedikit *volatiles* (gas-gas pengotor), stabilitas ukuran yang baik, ketahanan termal yang tinggi, dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu.

c. Poliester tak jenuh

Secara umum lebih dikenal dengan nama poliester saja. Karena berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti kebanyakan resin termoset lainnya maka tak perlu diberi tekanan untuk pencetakan. Berdasarkan karakteristik ini, bahan dikembangkan secara luas sebagai plastik diperkuat serat (FRP) dengan menggunakan serat gelas.

d. Resin urea

Resin ini didapat melalui reaksi urea dan formaldehid. Penggunaannya sebagai perekat, cat, pengubah kertas dan serat. Resin urea sendiri lebih jelek dari resin fenol, epoksi, dsb. dalam hal ketahanan air dan kestabilan dimensi. Untuk proses pencetakan dapat menggunakan pencetakan tekan dan injeksi.

e. Poliuretan

Poliuretan dihasilkan oleh reaksi diisosianat dan senyawa polihidroksi. Resin ini kuat baik dalam ketahanan abrasi, ketahanan minyak dan ketahanan pelarut, maka digunakan untuk plastik busa, cat, perekat, serat elastis, kulit sintetik dsb. Sifat-sifat umum poliuretan yaitu baik dalam elastisitas dan kekuatan, kekuatan tariknya tinggi, unggul dalam ketahanan abrasi, relatif kurang kuat terhadap asam dan alkali, dan warnanya mudah luntur oleh panas.

2.4.2 Termoplastik

Polimer termoplastik adalah material yang mempunyai sifat mampu bentuk cukup baik, artinya meleleh menjadi cair apabila dipanaskan. Resin ini mempunyai ikatan *linear* dan *branched* antara monomer-monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya akan relatif rendah. Resin termoplastik ini bersifat reversibel sehingga memungkinkan untuk didaur ulang dan dibentuk ulang. Menurut Tata Surdia (1985 : 209) resin termoplastik digolongkan menjadi 2 macam yaitu :

1. Resin untuk penggunaan umum
2. Resin untuk industri

- Resin untuk penggunaan umum

Resin yang dipakai sebagai bahan untuk memproduksi barang-barang yang diperlukan sehari-hari, berbagai barang kecil, kotak alat-alat listrik, film dan lembaran tipis pada umumnya, seharusnya mudah dicetak dan murah. Beberapa macam resin untuk penggunaan umum, seperti :

Karakteristik Polipropilen:

1. *Chemical name* : poly(1-methylethylene)
2. *Synonyms* : Polypropylene; Polypropene; Polipropene 25 [USAN];
Propene polymers; Propylene polymers;
3. *Chemical formula* : $(C_3H_6)_x$
4. *Monomer* : Propylene
5. *Density* : 0.928 g/cm³

(Sumber : [http:// en.wikipedia.org/wiki/polypropylene](http://en.wikipedia.org/wiki/polypropylene))

6. *Glass Transition Temperature (T_g)* : - 10 °C
7. *Melting Temperature (T_m)* : 176 °C
8. *Tensile Strength (σ_u)* : 23 – 38 MPa
9. *Tensile Modulus Stiffness* : 1.1 – 1.6 Gpa

(Sumber : Jastrzebski, 1987 : 623)

Polipropilen mempunyai sifat mampu cetak yang baik seperti halnya polietilen. Polipropilen mempunyai faktor penyusutan cetakan yang lebih kecil dibandingkan dengan polietilen yang bermassa jenis tinggi, pada kondisi optimal dapat diperoleh produk dengan ketelitian dimensinya yang baik. Dibanding dengan polietilen yang bermassa jenis tinggi titik lelehnya tinggi, kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekakuannya lebih tinggi, tetapi ketahanan impaknya rendah. Sifat mekaniknya dapat ditingkatkan dengan mencampurkan serat gelas.

c. Polistiren

Monomer stiren dibuat dari benzen dan etilen dipolimerisasikan oleh panas, cahaya dan katalis. Polistiren mempunyai sifat tidak berwarna dan merupakan resin transparan (bening). Mempunyai massa jenis lebih rendah dari polietilen dan polipropilen. Memiliki sifat listrik yang baik sekali terutama bagi frekuensi tinggi. Kegetasan yang merupakan kekurangan bagi polistiren, telah diperbaiki terutama jalan mencampurkan 5-20% karet sintetik atau SBR (*Styrene Butadiene Rubber*). Pada polistiren yang mempunyai ketahanan impak tinggi, dipakai untuk kotak radio, TV, *refrigerator* dan komponen interior mobil.

d. Polimetil metakrilat

Polimetil metakrilat memiliki sifat tembus cahaya sangat baik. Kekuatan impaknya 10 kali daripada gelas dan ketahanan terhadap cuaca yang baik. Bahan ini mempunyai sifat isolasi listrik yang baik, ketahanan kimianya lebih baik daripada polistiren. Larut baik dalam klorida etilen dan kloroform. Penggunaannya antara

lain untuk tegel dinding, plafon bercahaya, lampu gantung, panel meteran, peralatan makan dan lain-lain.

e. Polivinil klorida

Polivinil klorida mempunyai sifat-sifat baik dalam ketahanan air, ketahanan asam, ketahanan alkali, isolasi listrik dan tahan terhadap banyak larutan. Bahan ini melunak pada 65-85⁰C, mencair pada atau di atas 170⁰C dan terurai menghasilkan asam klorida pada atau di atas 190⁰C. Temperatur yang cocok untuk pengolahan adalah 150-180⁰C. Penggunaan untuk lapisan kabel listrik, sarung tangan tahan air, pipa kaku dan lain-lain.

f. ABS

Resin ini merupakan resin termoplastik dengan harga impact yang tinggi yang terdiri dari akrilonitril, butadien dan stiren. ABS khas dengan kekuatan impact yang tinggi, ketahanan kimia, ketahanan minyak, kestabilan dimensi, ketahanan retak-tegangan dan mempunyai kilap yang baik. Bahan ini baik untuk digabungkan dengan resin lain, khususnya pencampuran dengan PVC. Bila ABS dicampur dengan PVC pada 5-20% maka ketahanan impactnya akan bertambah baik. ABS banyak digunakan dalam alat-alat listrik seperti lemari es, mesin cuci, radio, TV dan lain-lain. Selain itu juga digunakan untuk alat-alat rumah tangga, jam, alat-alat optik dan juga mainan anak-anak.

- Resin untuk industri

Resin ini adalah plastik yang dapat digunakan dalam kondisi agak berat, sebagai bahan dan bagian-bagian untuk industri. Berbagai macam bahan sekarang dikembangkan dan banyak digunakan secara efektif sebagai komponen, dengan menggunakan sifat ringan, kemampuan bentuk yang baik, meredam suara, pelumasan dan tahan abrasi. Beberapa macam resin untuk industri ini antara lain :

a. Poliamid (Nylon)

Poliamid (Nylon) adalah resin dengan ikatan amida-NH-CO-, dan dari strukturnya dapat dibagi menjadi $[-NH-R-NHCO-R'-CO-]_n$ yang disebut polikondensat dari amin dan asam dikarboksilat dan $[-NH-R-CO-]_n$ yang didapat dari polikondensasi asam aminokarboksilat. Resin ini mempunyai sifat kuat dan unggul dalam pelumasan, ketahanan abrasi dan ketahanan kimia, tetapi akibat sifat serap airnya maka kestabilan dimensinya dan kestabilan listriknya kurang baik. Aplikasi dalam industri nylon banyak digunakan sebagai

antifriction part, bearing, unlubricated gears, trim clips dan beberapa komponen yang digunakan dalam temperatur tinggi.

b. Poliasetal

Poliasetal adalah resin termoplastik yang kristalin dengan struktur poliester yang terdiri dari rantai molekuler gugus metilen [-CH₂-] dan oksigen [-O-] yang berulang. Sifat yang dimiliki bahan ini adalah memiliki kristalinitas yang baik, unggul dalam kekuatan tekan dan agak kurang dalam ketahanan impaknya dibanding polikarbonat, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi, karena kuat seperti pegas logam. Resin ini termasuk kelompok bahan dengan ketahanan lelah paling tinggi dan ketahanan abrasinya baik seperti nylon. Poliasetal akan terurai pada suhu di atas 220°C dan melepaskan gas formalin. Di dalam permesinan poliasetal digunakan sebagai kopling mekanis, impeler pompa, roda gigi, kem dan bantalan.

c. Polikarbonat aromatik

Merupakan salah satu resin termoplastik dengan ikatan polikarbonat aromatik. Menurut sifat mekanisnya, bahan ini baik dalam ketahanan impaknya dan mempunyai kekuatan tarik yang relatif tinggi. Dalam bidang mekanik digunakan secara luas untuk helm, roda gigi, kem, komponen kapal laut, *boat propeler*

d. Polietilen tereftalat

Polietilen tereftalat (PET, PETE, PETP) adalah salah satu resin termoplastik jenuh yang berantai lurus dengan ikatan ester -O-C- dalam rantai utama.

$$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O-C} \end{array}$$

Beberapa sifat yang dimiliki polietilen tereftalat antara lain dengan permukaan yang halus mengkilap, titik leleh yang tinggi, maka bahan ini unggul dalam kestabilan dimensi karena serapan airnya dan koefisien ekspansi termalnya rendah. Resin ini kebanyakan digunakan untuk botol minuman. Polietilen tereftalat diproses dengan pencetakan injeksi pada 250°C-290°C.

2.4.3 Elastomer

Elastomer atau karet merupakan material polimer yang dimensinya dapat berubah secara signifikan apabila diberi beban atau tegangan dan kembali ke dimensi awal ketika beban atau tegangan dihilangkan (Smith, 2004 : 343). Terdapat beberapa macam tipe dari elastomer, yaitu :

- Karet alam
- *Polychloroprene*
- Silikon
- Sintetik poliisoprene
- Karet butadiena
- Karet *nitrile*

2.5 Penguat

Penguat atau disebut juga material pengisi (*filler*) merupakan komponen yang terpenting di dalam material komposit yang bertujuan untuk menambah sifat mekanik maupun elektrik dari matrik ([http://en.wikipedia.org/Composite_ material](http://en.wikipedia.org/Composite_material)). selain itu dapat untuk meningkatkan sifat-sifat matrik, juga dapat untuk menurunkan ongkos produksi. Perpaduan antara matriks dan penguat akan menghasilkan sifat material yang tidak dimiliki masing-masing ketika sebelum digabungkan.

Al_2O_3 sebagai penguat

Al_2O_3 adalah keramik yang mempunyai unjuk kerja yang tinggi bila digunakan dalam aplikasi struktural dan mempunyai harga yang relatif murah.

Material ini mempunyai kemampuan *ionic* dan *interatomic bonding* yang kuat. Selain itu material ini juga mempunyai ketahanan kimiawi yang tinggi kecuali terhadap gas *fluorine*, *hydrofluoro acid* dan *phosphoric acid*. Sifat material ini dapat berubah apabila dicampur dengan material lainnya. Sifat Al_2O_3 dapat diketahui dari tabel 2.1 sebagai berikut ini:

Tabel 2.1 Sifat mekanik Al_2O_3

Mechanical	Units of Measure	SI/Metric
Density	g/cc	3.72
Color	—	white
Tensile Strength	MPa	209
Elastic Modulus	GPa	300
Shear Modulus	GPa	124
Max. use temperature	°C	1700

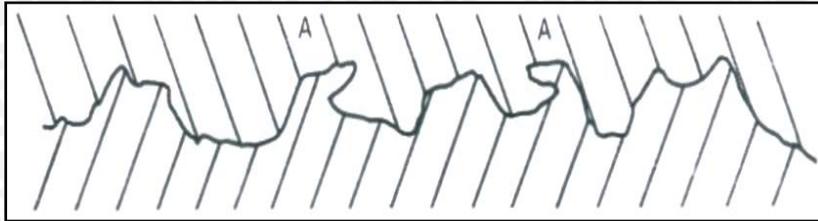
Sumber : www accuratus.com/alumox.html

2.6 Teori Ikatan Matrik dan Penguat

Ketika matrik melapisi dan melekat pada permukaan penguat, terjadi ikatan antara permukaan matrik dan penguat. Terdapat beberapa macam ikatan yang terbentuk, antara lain :

a. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

Matrik cair akan menyebar ke seluruh permukaan penguat dan mengisi setiap lekuk dan permukaan penguat yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*) seperti pada Gambar 2.6 dan semakin kasar permukaan penguat maka semakin kuat ikatan yang terbentuk.

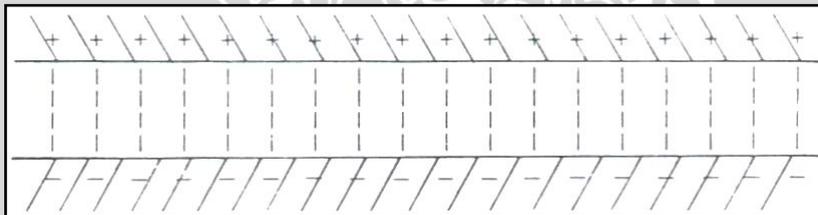


Gambar 2.6 *Mechanical Bonding*

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 62

b. Ikatan elektrostatik (*Electrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatik seperti yang ditunjukkan Gambar 2.7 terjadi antara matrik dan penguat ketika salah satu permukaan mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.

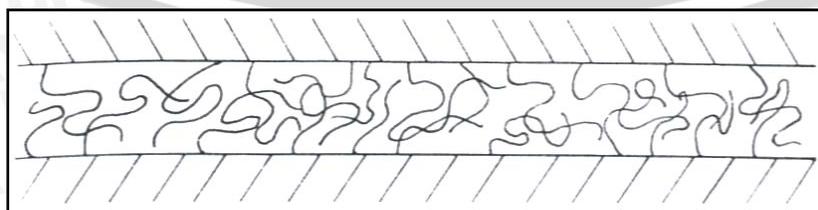


Gambar 2.7 *Electrostatic Bonding*

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 62

c. Ikatan reaksi (*Reaction bonding*)

Atom atau molekul dari dua komponen dalam komposit dapat bereaksi pada permukaannya sehingga terjadi ikatan reaksi (Gambar 2.8). 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*

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 63

2.7 Metode Pembuatan Komposit Polimer

Terdapat tiga macam metode yang dapat digunakan untuk membuat komposit (Advani, 2003 : 25) yaitu :

a. *Injection Molding*

Injection molding merupakan metode yang paling sering dan banyak digunakan dalam proses manufaktur komponen resin termoplastik yang diperkuat serat atau partikel dalam jumlah yang besar. *Injection molding* merupakan salah satu proses pencetakan plastik yang dilakukan dengan cara memberikan tekanan injeksi (*injection pressure*) yang besarnya tertentu kepada material plastik yang telah dilelehkan pada titik lelehnya oleh sejumlah energi panas, untuk dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) sehingga didapatkan bentuk yang diinginkan (Joseph, 1991 : 50). Proses pencetakan injeksi plastik banyak digunakan untuk membuat berbagai jenis produk plastik mulai dari peralatan rumah tangga sampai dengan komponen-komponen mesin perkakas (Joseph, 1991 : 50).

Penggunaan proses injeksi plastik didasarkan atas kelebihan-kelebihan (Joseph, 1991 : 52):

- Komponen dapat dihasilkan dengan tingkat produksi tinggi.
- Dapat dihasilkan produk tanpa pengerjaan akhir yang rumit.
- Dapat mencetak produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda tanpa merubah mesin dan cetakan.
- Produk dapat dibuat dengan toleransi ukuran kecil.

Beberapa tahapan pada proses pencetakan injeksi plastik (Joseph, 1991 : 54) :

1) Proses Injeksi.

Proses ini diawali dengan lelehan plastik yang didorong oleh *piston* kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan.

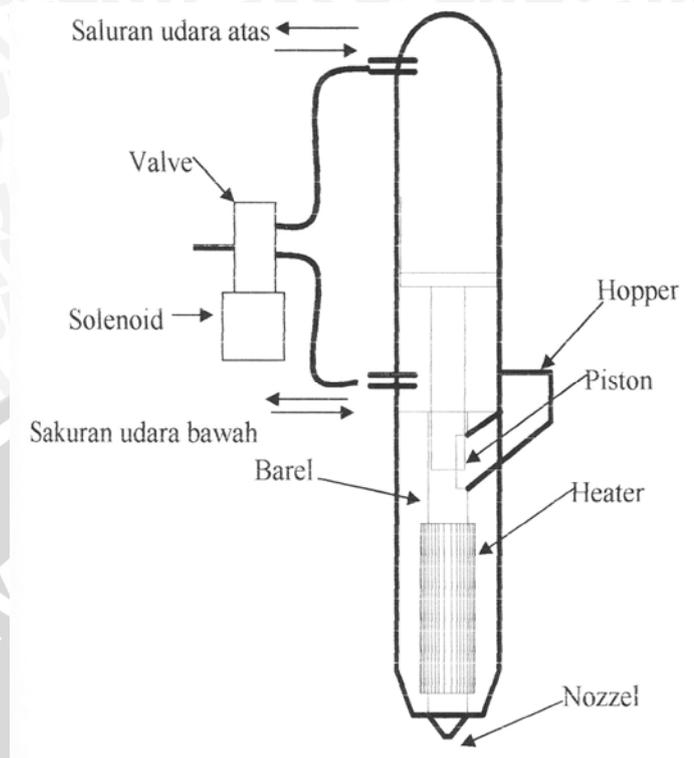
2) Proses Penahanan cetakan

Pada proses ini *piston* ditahan dalam posisi tekan untuk menjaga tekanan sampai cairan dalam *gate* membeku, kemudian gerakan mundur dari *piston* dimulai lagi untuk mengisikan plastik cair untuk proses pencetakan selanjutnya.

3) Proses Pengeluaran Produk.

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

Mesin *Injection Molding*



Gambar 2.9 Bagian-Bagian Mesin *Injection Molding*

Sumber : Lab. pengujian logam dan bahan Politeknik Negeri Malang

Dari gambar diatas 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 ke dalam cetakan.

b. *Extrusion*

Extrusion hampir sama dengan proses *injection molding* karena sama-sama terdapat *screw*. Perbedaan utama pada proses ekstrusi yaitu cetakan tidak tertutup seperti pada *injection molding*.

c. *Compression Molding*

Prinsip dalam proses *compression molding* sangat sederhana. Material diletakkan didalam cetakan kemudian cetakan ditutup dan diberikan tekanan. Material akan berubah bentuk mengikuti bentuk cetakan ketika cetakan dibuka. Kemudian material dikeluarkan dari dalam cetakan.

2.8 Temperatur Penginjeksian

Temperatur mempunyai pengaruh yang sangat besar pada bahan polimer termoplastik, karena pada temperatur tertentu (titik lunak, titik transisi gelas) sebagai batasan maka deformasi tarikan meningkat. Akan tetapi modulus elastisitasnya akan menurun. Oleh karena itu pada bahan polimer perlu mengenal temperatur khusus, karena pada bahan polimer termoplastik pada temperatur tertentu (titik lunak, titik transisi gelas) dapat berubah secara tiba-tiba. Titik lunak (T_m) merupakan faktor penting bagi polimer termoplastik berkrystal, yang berhubungan dengan struktur molekul, gaya antar molekul dan seterusnya. Secara termodinamika dapat dinyatakan (Tata Surdia, 1995 : 196) :

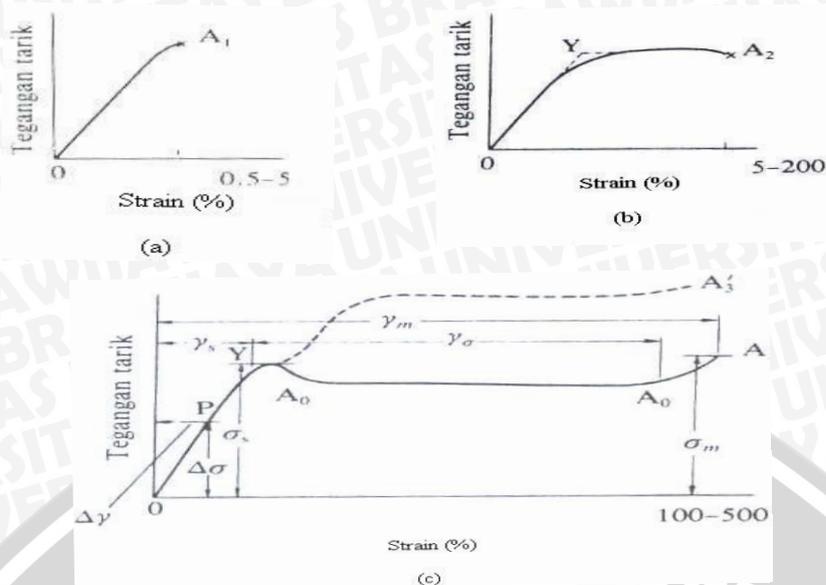
$$T_m = \frac{\Delta H}{\Delta S}$$

dimana ΔS dan ΔH masing-masing adalah entropi dan entalpi pada pencairan. Karena itu bahan polimer yang terdiri dari molekul rantai dengan ΔH besar (gaya antar molekul kuat) dan ΔS kecil mempunyai titik cair tinggi. Sebagai contoh poli-parafenilen tereftalamid (kevlar) mempunyai T_m yang sangat tinggi. Sebaliknya bahan dengan ΔS besar dan ΔH kecil seperti karet alam, titik cairnya sangat rendah. *Melting point* yang dimiliki oleh polipropilen 176°C , untuk penelitian ini digunakan temperatur injeksi $220^\circ\text{-}250^\circ\text{C}$. Titik transisi gelas (T_g) adalah titik transisi yang dimiliki oleh bahan polimer. Di bawah T_g bahan menunjukkan keadaan seperti gelas, kemudian berubah ke keadaan seperti karet di atas T_g . Perubahan sifat mekanis juga dipengaruhi T_g , oleh karena itu perlu mengetahui T_g terlebih dahulu sebelum pemakaian bahan polimer.

2.9 Tegangan-Regangan Bahan Polimer

Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur dan kelembaban. Umumnya kekuatan tarik dari bahan polimer lebih rendah daripada umpamanya baja 70 kgf/mm^2 . kekuatan tarik nilon 66 adalah $6,5\text{-}8,4 \text{ kgf/mm}^2$ dan PVC $3,5\text{-}6,3 \text{ kgf/mm}^2$. Pada resin biasa seperti polistiren, polietilen dan polipropilen kekuatan tariknya antara $0,7\text{-}8,4 \text{ kgf/mm}^2$.

Dari kelakuan mulurnya ada tiga jenis kurva tegangan-regangan seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 di bawah ini:



Gambar 2.10 Kelakuan mulur dalam kurva tegangan-regangan
Sumber : Tata Surdia. 1995 : 181

Seperti yang ditunjukkan oleh garis OA_1 , pada gambar 2.10(a) 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 stiren yang bersifat patah getas.

Pada jenis selanjutnya, yang ditunjukkan pada gambar 2.10(c), 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.

Gambar 2.10(b) tidak menunjukkan penurunan beban setelah titik mulur seperti halnya yang ditunjukkan gambar 2.10(c) tetapi hanya satu titik infleksi, 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 poliester menunjukkan kelakuan seperti pada gambar 2.10(a), sedangkan resin termoplastik sering berubah dari kelakuan pada gambar 2.10(a) ke gambar 2.10(c) apabila temperatur meningkat.

Dari setiap gambar tersebut, konstanta perbandingan antara tegangan dan regangan pada bagian lurus OY adalah modulus elastik yaitu modulus elastis young.

Modulus elastik young pada bahan polimer terletak di daerah $0,1 - 21 \times 10^2 \text{ kgf/mm}^2$.

Harga tersebut lebih rendah daripada baja yaitu $200 \times 10^2 \text{ kgf/mm}^2$. Deformasi oleh penarikan sampai patah berbeda tergantung pada jenis dan temperatur. Kebanyakan dari resin termoset perpanjangannya kurang dari 5%. Pada resin termoplastik berkristal kebanyakan menunjukkan tipe gambar 2.10(c) dengan perpanjangan yang jelas. (Tata Surdia, 1995 : 181).

Hal-hal yang berpengaruh terhadap sifat mekanis polimer :

1. Temperatur

Pengaruh temperatur pada resin termoplastik sangat besar. Kalau temperatur dinaikkan kekuatan tariknya turun. Pada setiap temperatur tertentu (titik lunak, titik transisi gelas) sebagai batas, deformasi karena tarikan meningkat cepat dan modulus elastisitasnya menurun. Berlawanan dengan itu di bawah temperatur tersebut, modulus elastisitasnya meningkat. Jadi pada bahan polimer perlu mengenal jenis temperatur khas tersebut (titik lunak, titik transisi gelas).

2. Laju tegangan

Telah diketahui dari berbagai bahan bahwa kelakuan bahan akan berubah karena pembebanan, apakah beban itu ringan dan perlahan atau tiba-tiba. Pengaruh tersebut sangat terlihat pada bahan yang mempunyai sifat viskoelastik seperti polimer. Kalau laju tegangan dikurangi perpanjangan bertambah yang mengakibatkan kurva tegangan-regangan menjadi landai maka modulus elastisitasnya menjadi kecil. Semakin tinggi laju tegangan maka modulus elastisitasnya semakin besar. Jadi laju tegangan memberikan pengaruh yang besar pada sifat-sifat mekanik bahan polimer.

2.9.1 Teori Dasar Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian statis pada material yang dilakukan dengan cara memberikan gaya tarik yang arahnya tegak lurus penampangnya. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari material tersebut. Sehingga dari uji tersebut didapatkan batas elastis, tegangan maksimum dan tegangan patah dari bahan tersebut.

Sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

- Kekuatan tarik

$$\sigma = \frac{P_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(2.1) \quad \text{dimana, } P_{maks} = \text{beban tarik maksimum}$$

A_0 = luas penampang mula-mula

- Regangan

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2) \quad \text{dimana, } l_0 = \text{panjang mula-mula}$$

l = panjang batang uji yang sebenarnya

2.9.2 Rule Of Mixture vs Hybrid Effect

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat dasar dari bahan. Hubungan tegangan–regangan pada tarikan memberikan nilai yang berubah tergantung pada laju tegangan. Kekuatan tarik komposit dapat dihitung menggunakan rumusan *rule of mixture* sebagai berikut (William F.Smith, 1996 : 781) :

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

σ_f = tegangan pengisi

V_f = fraksi volume pengisi

σ_m = tegangan matrik

V_m = fraksi volume matrik

Untuk menentukan apakah nilai yang diberikan dari hasil pengujian kekuatan tarik terhadap fraksi volume penguat bernilai positif atau negatif terhadap *hybrid effect* yaitu dengan membandingkan nilai dari hasil pengujian (aktual) dengan nilai hasil perhitungan (teoritis). Jika nilai hasil pengujian lebih tinggi dari nilai teoritis, berarti memberikan efek yang positif, jika sebaliknya maka efek yang dihasilkan adalah negative. *Hybrid effect* menentukan apakah penguat yang dipilih sesuai dengan jenis matrik yang dipergunakan dalam pembuatan komposit. *Hybrid effect* positif berarti fraksi volume penguat memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik, sehingga penguat yang dipilih sesuai dengan jenis matrik yang digunakan dan sebaliknya jika terjadi *hybrid effect* negatif maka penguat yang dipilih tidak sesuai dengan jenis matrik.

2.10 Hipotesis

Dari latar belakang yang telah dikemukakan didapat hipotesis bahwa fraksi volume dan temperatur injeksi berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit polipropilen. Semakin besar fraksi volume Al_2O_3 dan temperatur injeksi yang semakin tinggi akan meningkatkan kekuatan tarik komposit.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental sejati (*true experimental research*) untuk mendapatkan data-data dan informasi tambahan diperoleh melalui kajian literatur dari buku, jurnal penelitian dan internet. Metode ini menggunakan analisa varian dua arah dengan interaksi. Pemilihan ini karena percobaan menggunakan dua variabel bebas.

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perbandingan fraksi volume (%) antara serbuk alumina dengan polipropilen, perbandingannya yaitu: (0:100), (5:95), (10:90), (15:85) dan temperatur penginjeksian yang dipakai adalah 220°C, 230°C, 240°C, 250°C.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel besar nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik.

3. Variabel Terkendali

Variabel ter kendalinya adalah tekanan injeksi sebesar 10 bar dan ukuran butir yang dipakai antara 63µm dengan 71 µm.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

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

1. Laboratorium Pengecoran Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya
2. Laboratorium Pengujian Logam dan Bahan Politeknik Negeri Malang

3.4 Alat dan Bahan Yang Digunakan

- Alat yang digunakan

1. Mesin *injection molding*

Merek : TEFORMA

Maschinenbau GmbH D-6991 Igersheim

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

Tekanan Maks : 10 bar

2. Mesin pengujian tarik

Merek : Universal Tensile Test Tarno Groky
Kapasitas : 100 kN
Buatan : Jerman
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

3. Timbangan *digital*

Merek : METTLER

4. Mesin ayak *rotab*

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

5. Cetakan spesimen

6. Kertas gosok

7. Jangka sorong

• Bahan yang digunakan

1. Polipropilen
2. Serbuk Al_2O_3

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah pembuatan spesimen komposit pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan bahan yang akan digunakan yaitu serbuk Al_2O_3 dan polipropilen
- b. Dilakukan penimbangan serbuk Al_2O_3 dan polipropilen sesuai dengan perbandingan fraksi volume yang akan dibuat

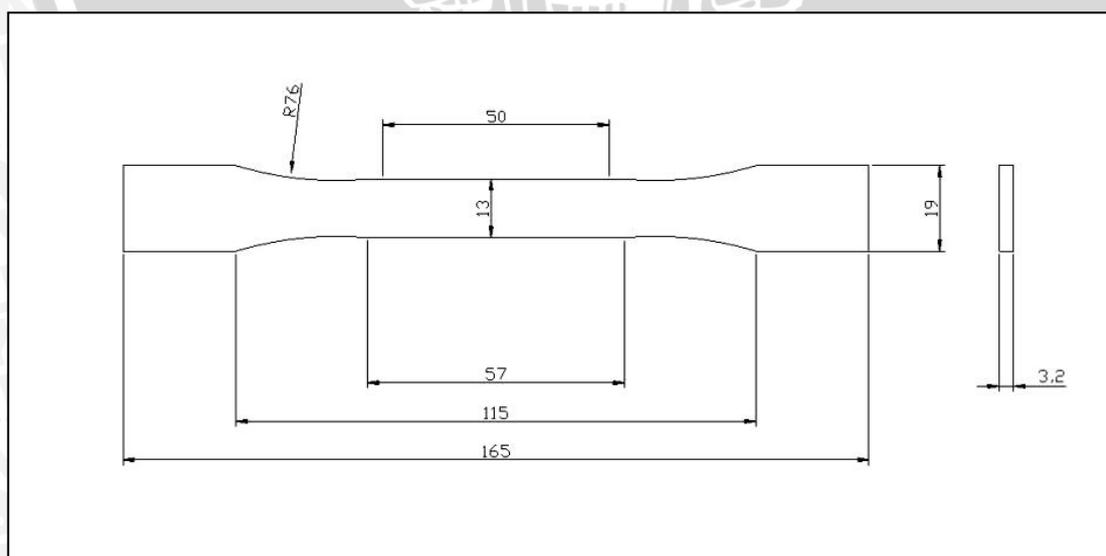
- c. Dilakukan *dry mixing* antara serbuk Al_2O_3 dan polipropilen
- d. Menyalakan mesin *injection molding* dan memasang cetakan uji tarik pada mesin *injection molding*
- e. Campuran serbuk alumina dan polipropilen dimasukkan ke dalam mesin *injection molding* untuk persiapan pemanasan, variasi temperatur mesin yaitu 220°C , 230°C , 240°C dan 250°C dengan tekanan yang konstan
- f. Ketika lampu indikator pada mesin sudah mati maka bahan siap untuk diinjeksi ke dalam cetakan
- g. Kemudian cetakan dilepas dan spesimen dikeluarkan dari cetakan
- h. Dilakukan pengukuran dimensi spesimen kemudian diampelas agar didapatkan dimensi yang sevarian
- i. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik

3.6 Metode Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

Spesimen pengujian tarik dibuat dengan proses *injection molding* pada cetakan yang telah disiapkan sesuai dengan ASTM D638-97. Proses dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

Tabel 3.1 Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik

Width of narrow section	Length of narrow section	Width overall	Length overall	Gage length	Distance between grips	Radius of fillet	Thickness
13 mm	57 mm	19 mm	165 mm	50 mm	115 mm	76 mm	$3,2 \pm 0,4$ mm



Gambar 3.1 Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik
Sumber : ASTM D638-97, *Tensile Properties of Plastics*

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.

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dan variasi temperatur terhadap kekuatan tarik maka perlu dibuat model rancangan penelitian agar hasil yang diperoleh berguna untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Rancangan penelitiannya sebagai berikut :

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian Hasil Uji Tarik

Fraksi Volume (%)	Ulangan	Variasi Temperatur			
		220°C	230°C	240°C	250°C
0	1	X ₁₁₁	X ₁₂₁	X ₁₃₁	X ₁₄₁
	2	X ₁₁₂	X ₁₂₂	X ₁₃₂	X ₁₄₂
	3	X ₁₁₃	X ₁₂₃	X ₁₃₃	X ₁₄₃
5	1	X ₂₁₁	X ₂₂₁	X ₂₃₁	X ₂₄₁
	2	X ₂₁₂	X ₂₂₂	X ₂₃₂	X ₂₄₂
	3	X ₂₁₃	X ₂₂₃	X ₂₃₃	X ₂₄₃
10	1	X ₃₁₁	X ₃₂₁	X ₃₃₁	X ₃₄₁
	2	X ₃₁₂	X ₃₂₂	X ₃₃₂	X ₃₄₂
	3	X ₃₁₃	X ₃₂₃	X ₃₃₃	X ₃₄₃
15	1	X ₄₁₁	X ₄₂₁	X ₄₃₁	X ₄₄₁
	2	X ₄₁₂	X ₄₂₂	X ₄₃₂	X ₄₄₂
	3	X ₄₁₃	X ₄₂₃	X ₄₃₃	X ₄₄₃

Keterangan :

X adalah data hasil pengujian

X_{ijk} adalah data pengamatan yang berupa data pengujian pada fraksi volume ke-i dan variasi temperatur ke-j serta ulangan ke-k

3.8 Analisa Statistik

3.8.1 Analisa Kecukupan Data

Analisa kecukupan data digunakan untuk mengetahui apakah jumlah data yang diperoleh sudah cukup dan dapat dianalisa atau perlu adanya penambahan data baru.

Untuk melakukan analisa kecukupan data dilakukan perhitungan sebagai berikut.

- Mean (rata-rata) sample (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \tag{3.1}$$

- Variasi sample (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \tag{3.2}$$

- Standart deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \tag{3.3}$$

- Tingkat ketelitian (*Degree of Accuracy* atau DA)

$$DA = \frac{\sigma}{x} \times 100\% \tag{3.4}$$

- Tingkat keyakinan (*Convident Level* atau CL)

$$CL = 100\% - DA \tag{3.5}$$

Untuk mengetahui koefisien tingkat keyakinan (k) digunakan tabel koefisien tingkat keyakinan di bawah ini.

Tabel 3.3 Koefisien tingkat keyakinan

<i>Confidence level</i> (%)	99.73	99	98	96	95.45	95	90	80	68.27	50
k	3	2.589	2.33	2.05	2	1.96	1.645	1.28	1	0.6745

Sumber: Spiegel, 1994: 211

- Batas kontrol

Batas kontrol atas (*Upper Control Limit* atau UCL)

$$UCL = \bar{x} + k\sigma \tag{3.6}$$

Batas kontrol bawah (*Lower Control Limit* atau LCL)

$$UCL = \bar{x} - k\sigma \tag{3.7}$$



- Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100} \quad (3.8)$$

- Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{S} \sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]^2 \quad (3.9)$$

Dari hasil perhitungan, data dapat dikatakan cukup jika $N \geq N'$

3.8.1 Analisa Varian

Untuk menganalisis hasil penelitian digunakan analisis varian dua arah dengan interaksi untuk menguji apakah keragaman hasil penelitian disebabkan oleh fraksi volume, variasi temperatur dan interaksi keduanya.

- **Formula hipotesis**

1. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh fraksi volume

Dirumuskan:

$H_{01} : \alpha_i = 0$, tidak ada pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik

$H_{11} : \alpha_i \neq 0$, ada pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik

2. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh temperatur injeksi

$H_{02} : \beta_j = 0$, tidak ada pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik

$H_{12} : \beta_j \neq 0$, ada pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik

3. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi

$H_{03} : (\alpha\beta)_{ij} = 0$, tidak ada pengaruh interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi

$H_{13} : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$, ada pengaruh interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi

- **Analisa statistik**

Model matematis dari rancangan acak kelompok yang mempunyai pengulangan lebih dari satu dinyatakan dengan :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \left. \vphantom{Y_{ijk}} \right\} \begin{array}{l} i=1,2,3,\dots,r \\ j=1,2,3,\dots,c \\ k=1,2,3,\dots,k \end{array}$$

dengan:

Y_{ijk} = Nilai pengamatan fraksi volume ke - i , temperatur injeksi ke - j , dan ulangan ke - k

μ = Nilai perlakuan overall

α_i = Pengaruh fraksi volume ke - i

β_j = Pengaruh temperatur injeksi ke - j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi fraksi volume ke - i , temperatur injeksi ke - j dan ulangan ke - k

ε_{ijk} = Galat percobaan pada fraksi volume ke - i , temperatur injeksi ke - j dan ulangan ke - k

r = Banyaknya variasi fraksi volume

c = Banyaknya variasi temperatur injeksi

k = Banyaknya ulangan

Berdasarkan tabel dapat dihitung antara lain:

1. Faktor koreksi (FK)

$$\left[\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t X_{ijk} \right]^2 : rct \dots\dots\dots 3.10$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\frac{\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c X_{ij}^2}{t} - FK \dots\dots\dots 3.11$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - FK \dots\dots\dots 3.12$$

4. Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$\frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - FK \dots\dots\dots 3.13$$

5. Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$\frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rt} - FK \dots\dots\dots 3.14$$

6. Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B

$$(JKAB) = JKP - JKA - JKB \dots\dots\dots 3.15$$

7. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \dots\dots\dots 3.16$$

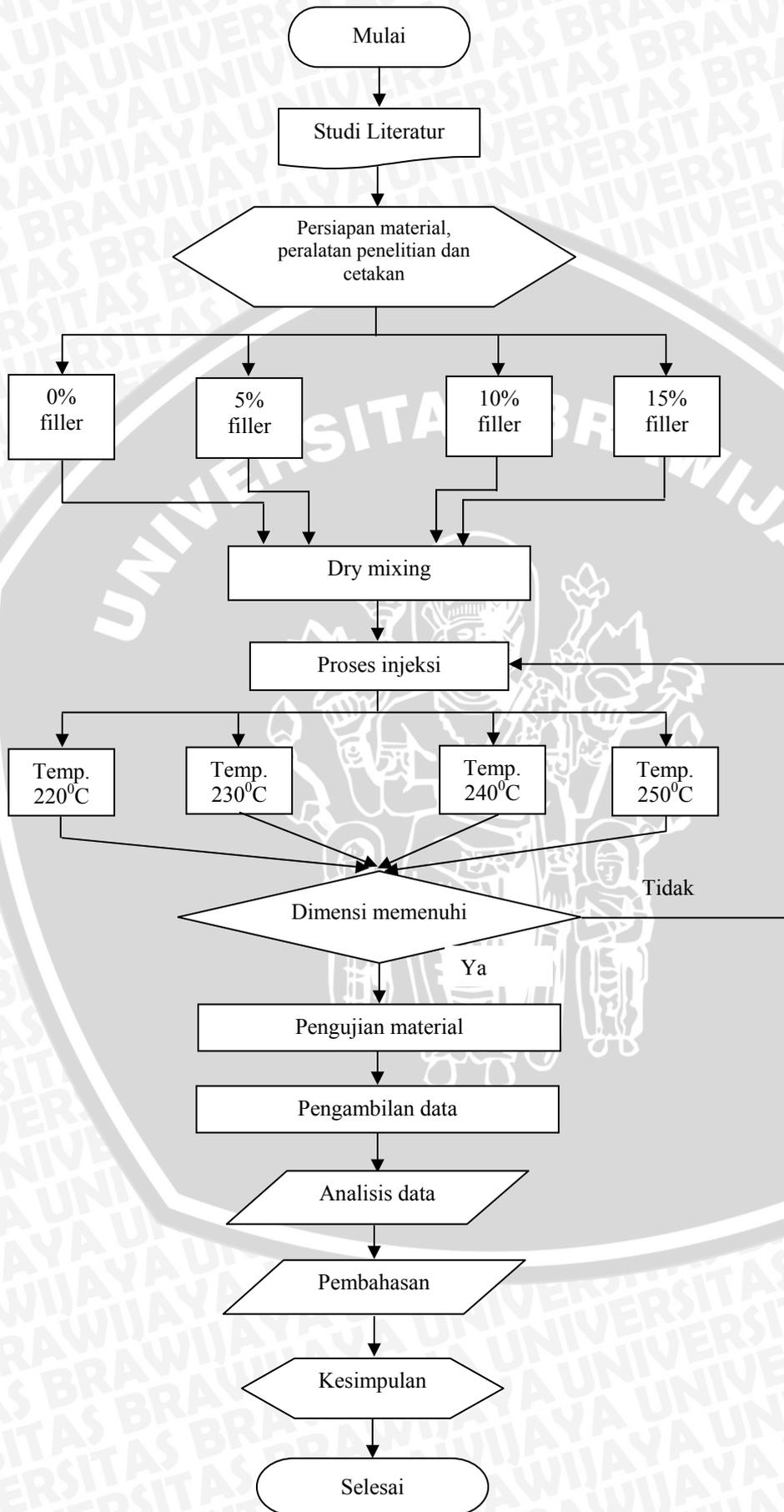
Tabel 3.4. Tabel Analisis Varian Dua Arah

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_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (fraksi volume) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
2. Bila $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima. Berarti faktor B (temperatur injeksi) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
3. Bila $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Berarti interaksi faktor A (fraksi volume) dan faktor B (temperatur injeksi) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

3.9 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

PENGUMPULAN DATA, PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil pengujian

Dalam pengujian ini menggunakan dua variasi yaitu fraksi volume dan temperatur injeksi sehingga didapatkan data-data pengujian kekuatan tarik spesimen seperti terlihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Data hasil pengujian kekutan tarik komposit

Variasi		Temperatur Injeksi (°C)				Jumlah total
Fraksi volume Al ₂ O ₃ (%)	Ulangan	220	230	240	250	
0	1	32,97	36,26	31,87	23,08	
	2	32,97	36,26	25,27	26,37	
	3	37,36	27,47	28,57	30,77	
jumlah		103,3	99,99	85,71	80,22	369,22
rata-rata		34,43	33,33	28,57	26,74	
5	1	39,56	30,77	34,06	29,67	
	2	37,36	35,16	32,97	29,89	
	3	36,26	35,16	31,87	30,77	
jumlah		113,18	101,09	98,9	90,33	403,5
rata-rata		37,73	33,7	32,97	30,11	
10	1	32,97	30,77	30,77	25,27	
	2	34,06	29,67	28,57	25,27	
	3	34,06	26,37	23,08	23,08	
jumlah		101,09	86,81	82,42	73,62	343,94
rata-rata		33,7	28,94	27,47	24,57	
15	1	28,57	28,57	26,37	20,88	
	2	34,06	28,57	26,37	20,88	
	3	30,77	26,37	24,17	23,08	
jumlah		93,4	83,51	76,91	64,84	318,66
rata-rata		31,13	27,84	25,64	21,61	
jumlah total		410,97	371,4	343,94	309,01	1435,32

Dari data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisa statistik yaitu analisa varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh fraksi volume dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik.

4.2 Analisa Kecukupan Data

Analisa kecukupan data digunakan untuk mengetahui apakah data yang di peroleh sudah cukup dan dapat dianalisa atau perlu adanya penambahan data baru.

Contoh perhitungan analisa kecukupan data dari kekuatan tarik komposit polipropilen pada fraksi volume Al₂O₃ sebesar 5% dan temperatur injeksi sebesar 220 °C disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Contoh perhitungan analisa kecukupan data

No.	x_i	x_i^2	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	39,56	1564,994	1,83	3,3489
2	37,36	1395,77	-0,37	0,1369
3	36,26	1314,788	-1,47	2,1609
jumlah	113,18	4275,551	-0,01	5,6467

Dari tabel di atas dapat dihitung nilai N^* sebagai berikut:

- Mean (rata-rata) sample (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$= \frac{113,18}{3} = 37,73$$

- Variasi sample (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$= \frac{5,6467}{3 - 1} = 2,82335$$

- Standart deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$= 1,680282714$$

- Tingkat ketelitian (*Degree of Accuracy* atau DA)

$$DA = \frac{\sigma}{x} \times 100\%$$

$$= \frac{1,680282714}{37,73} \times 100\% = 4,453439476\%$$

- Tingkat keyakinan (*Convident Level* atau CL)

$$CL = 100\% - DA$$

$$= 100\% - 4,453439476\% = 95,54656052\%$$

Dari tabel didapat nilai tingkat keyakinan (k) sebesar 2,00919

- Batas kontrol

Batas kontrol atas (*Upper Control Limit* atau UCL)

$$UCL = \bar{x} + k\sigma$$

$$= 37,73 + (2,00919 \times 1,680282714) = 41,10600798$$

Batas kontrol bawah (*Lower Control Limit* atau LCL)

$$UCL = \bar{x} - k\sigma$$

$$= 37,73 - (2,00919 \times 1,680282714) = 34,35399202$$

- Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100}$$

$$= \frac{4,453439476}{100} = 0,044534395$$

- Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{S} \sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]^2$$

$$= \left[\frac{2,00919}{0,044534395} \sqrt{(3 \times 4275,551) - (113,18)^2} \right]^2 = 2,691690533$$

Dari perhitungan diperoleh $N' = 2,691690533$

Jadi $N' < N$ atau $2,691690533 < 3$, maka data dapat dinyatakan cukup untuk dianalisa.

Dengan perhitungan yang sama didapatkan hasil kecukupan data pada tiap-tiap perlakuan yang disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil perhitungan analisa kecukupan data

variasi		Temperatur Injeksi ($^{\circ}\text{C}$)			
		220	230	240	250
Fraksi Volume (%)	0	2,186593243<3	1,40988<3	1,682018<3	1,46686421<3
	5	2,691690533<3	2,163251<3	2,318153<3	2,652301002<3
	10	1,001348403<3	2,104497<3	1,467321<3	2,540773573<3
	15	1,962305047<3	2,665631<3	2,572566<3	2,417824987<3

4.3 Analisa varian

Di dalam penelitian ini digunakan analisa varian dua arah dikarenakan variabel bebasnya sebanyak dua yaitu fraksi volume dan temperatur injeksi sehingga digunakan hipotesa sebagai berikut:

1. $H_{01} : \alpha_i = 0$, tidak ada pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik
 $H_{11} : \alpha_i \neq 0$, ada pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik
2. $H_{02} : \beta_j = 0$, tidak ada pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik
 $H_{12} : \beta_j \neq 0$, ada pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik
3. $H_{03} : (\alpha\beta)_{ij} = 0$, tidak ada pengaruh interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi
 $H_{13} : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$, ada pengaruh interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi

Untuk mengetahui apakah F_{hitung} lebih besar atau lebih kecil daripada F_{tabel} maka dilakukan perhitungan statistik sebagai berikut:

Kriteria pengujian

$$\alpha = 0,05$$

$$\text{faktor A (fraksi volume)} = r = 4 \longrightarrow v_1 = (4-1) = 3$$

$$\text{faktor B (temp. Injeksi)} = c = 4 \longrightarrow v_1 = (4-1) = 3$$

$$\text{ulangan} = t = 3$$

$$\text{interaksi A dan B} \longrightarrow v_1 = (r-1)(c-1) = 3 \times 3 = 9$$

$$v_2 = rc(t-1) = 4 \times 4(3-1) = 32 \text{ sehingga,}$$

$$F_A = F(0,05;3;32)$$

$$F_B = F(0,05;3;32)$$

$$F_{AB} = F(0,05;9;32)$$

Berdasarkan tabel dapat dihitung antara lain:

1. Faktor koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk} \right]^2 : rct \\ &= (32,97+36,26+31,87+23,08+\dots\dots\dots+26,37+24,17+23,08)^2 : 48 \\ &= 42919,66 \end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c X_{ij}^2}{t} - FK \\ &= \{(103,3)^2+(99,99)^2+(85,71)^2+\dots\dots\dots+(76,91)^2+(64,84)^2\} - 42919,66 \\ &= 815,324 \end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - FK \\ &= \{(32,97)^2+(36,26)^2+(31,87)^2+\dots\dots\dots+(26,37)^2+(24,17)^2+(23,08)^2\} - 42919,66 \\ &= 1023,602 \end{aligned}$$

4. Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$\begin{aligned} JKA &= \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - FK \\ &= \frac{\{(369,22)^2 + (403,5)^2 + (343,94)^2 + (318,66)^2\}}{12} - 42919,66 \\ &= 328,2252 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$\begin{aligned} JKB &= \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rt} - FK \\ &= \frac{\{(410,97)^2 + (371,4)^2 + (343,94)^2 + (309,01)^2\}}{12} - 42919,66 \\ &= 465,0274 \end{aligned}$$

6. Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B

$$\begin{aligned} JKAB &= JKP - JKA - JKB \\ &= 815,324 - 328,2252 - 465,0274 \\ &= 22,07138 \end{aligned}$$

7. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKA - JKB - JKAB \\
 &= 1023,602 - 328,2252 - 465,0274 - 22,07138 \\
 &= 208,2775
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Tabel Hasil Analisis Varian Dua Arah

Sumber keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F _{hitung}	F _{tabel} ($\alpha = 5\%$)
Faktor A	3	328,2252	109,4084	16,81	2,9
Faktor B	3	465,0274	155,0091	23,815	2,9
Interaksi A dan B	9	22,07138	2,452	0,377	2,19
Galat	32	208,2775	6,5086		
Total	47	1023,602			

Berdasarkan tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa :

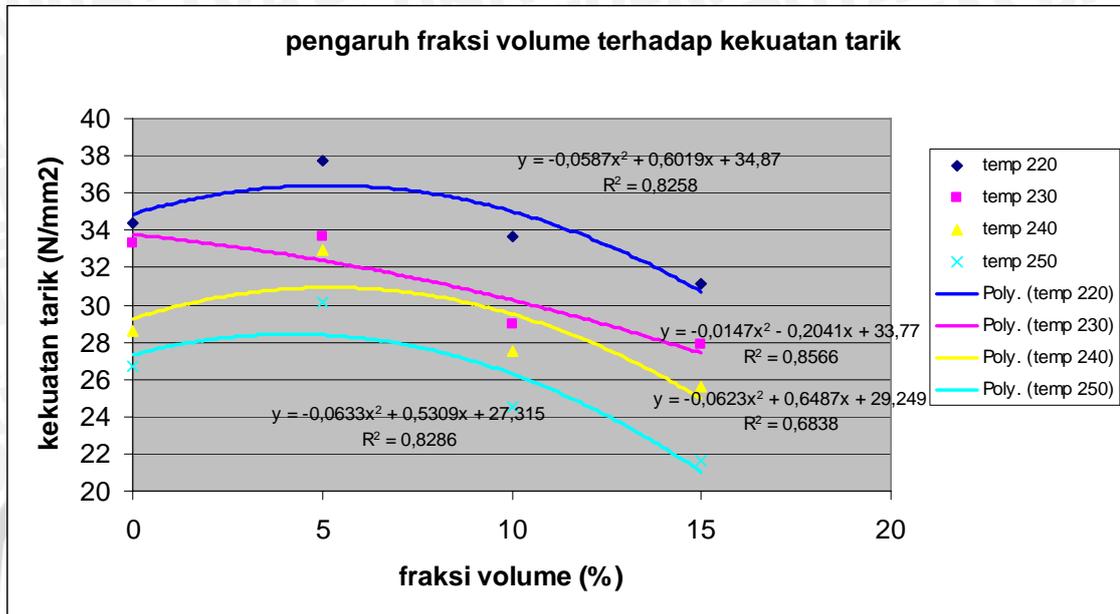
1. $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($16,81 > 2,9$) ini berarti bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima artinya semakin besar fraksi volume Al_2O_3 mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik.
2. $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($23,815 > 2,9$) ini berarti bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima artinya semakin besar temperatur injeksi mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik.
3. $F_{hitung} < F_{tabel}$ ($0,377 < 2,19$) ini berarti bahwa H_{01} diterima dan H_{11} ditolak artinya interaksi fraksi volume Al_2O_3 dan temperatur injeksi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik.

4.4 Pembahasan

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan fraksi volume dan temperatur injeksi yang bervariasi maka didapatkan besarnya kekuatan tarik komposit. Untuk mempermudah menganalisis maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik.

4.4.1 Analisa Hubungan antara Fraksi Volume dengan Kekuatan Tarik

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik maka dapat kita lihat dari gambar 4.1 grafik hubungan antara fraksi volume dengan kekuatan tarik di bawah ini :



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara fraksi volume dengan kekuatan tarik

Dari gambar 4.1 grafik hubungan antara fraksi volume dengan kekuatan tarik dengan variasi temperatur diketahui kekuatan tarik meningkat dari fraksi volume 0% sampai 5% kemudian terjadi penurunan kekuatan tarik sampai pada fraksi volume 15%.

Pada temperatur 220⁰C dan fraksi volume 0% diperoleh kekuatan tarik sebesar 34,43 N/mm² kemudian meningkat sampai fraksi volume 5% sebesar 37,73 N/mm², namun terjadi penurunan kekuatan tarik sampai fraksi volume 15% sebesar 31,13 N/mm². Untuk temperatur 230⁰C dan fraksi volume 0% diperoleh kekuatan tarik sebesar 33,33 N/mm² kemudian meningkat sampai fraksi volume 5% sebesar 33,7 N/mm², namun terjadi penurunan kekuatan tarik sampai fraksi volume 15% sebesar 27,84 N/mm². Untuk temperatur 240⁰C dan fraksi volume 0% diperoleh kekuatan tarik sebesar 28,57 N/mm² kemudian meningkat sampai fraksi volume 5% sebesar 32,97 N/mm², namun terjadi penurunan kekuatan tarik sampai fraksi volume 15% sebesar 25,64 N/mm². Untuk temperatur 250⁰C dan fraksi volume 0% diperoleh kekuatan tarik sebesar 26,74 N/mm² kemudian meningkat sampai fraksi volume 5% sebesar 30,11 N/mm², namun terjadi penurunan kekuatan tarik sampai fraksi volume 15% sebesar 21,61 N/mm².

Penguatan pada komposit disebabkan adanya ikatan secara mekanik antara matrik dan penguat, dimana matrik polipropilen mengisi setiap lekuk permukaan Al_2O_3 ketika proses pencairan berlangsung sehingga terjadi mekanisme *interlocking* atau *keying* antara permukaan matrik polipropilen dan Al_2O_3 . Ketika komposit dikenai beban, terjadi tegangan geser pada permukaan antara penguat dan matrik di sekitarnya dan tegangan geser tersebut akan ditahan oleh ikatan mekanik dengan mekanisme *interlocking* atau *keying* tersebut (Sriati Djaprie, 1991 : 600).

Tabel 4.5 Analisa *Hybrid Effect*

Fraksi volume Al_2O_3 (%)	Temperatur Injeksi ($^{\circ}\text{C}$)	kekuatan tarik (MPa)		Selisih (MPa)	<i>Hybrid Effect</i>
		σ aktual	σ teoritis		
0	220	34,43			
	230	33,33			
	240	28,57			
	250	26,74			
5	220	37,73	43,1585	-5,4285	-
	230	33,7	42,1135	-8,4135	-
	240	32,97	37,5915	-4,6215	-
	250	30,11	35,853	-5,743	-
10	220	33,7	51,887	-18,187	-
	230	28,94	50,897	-21,957	-
	240	27,47	46,613	-19,143	-
	250	24,57	44,966	-20,396	-
15	220	31,13	60,6155	-29,4855	-
	230	27,84	59,6805	-31,8405	-
	240	25,64	55,6345	-29,9945	-
	250	21,61	54,079	-32,469	-

Berdasarkan teori *rule of mixture*, seiring bertambahnya fraksi volume penguat kekuatan tarik dari komposit akan mengalami peningkatan sesuai dengan rumusan:

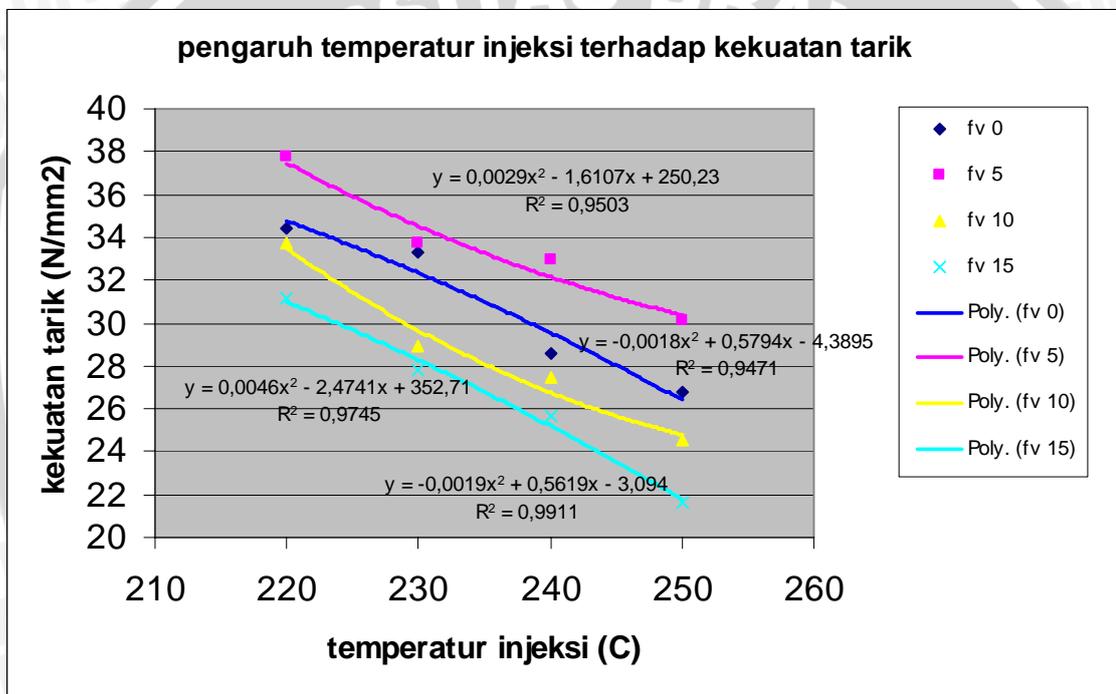
$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m$, tetapi dari gambar 4.1 menunjukkan terjadinya penurunan kekuatan tarik komposit dengan semakin bertambahnya fraksi volume Al_2O_3 , dari fraksi volume 5% sampai 15%. Kemudian setelah dilakukan analisa *hybrid effect* seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.5, hasil analisa menunjukkan bahwa dari fraksi volume 5%, 10% dan 15% pada variasi temperatur 220° , 230° , 240° dan 250°C semua nilai pengujian (σ aktual) lebih rendah daripada nilai perhitungan (σ teoritis) sehingga selisihnya bernilai minus. Hal ini berarti bahwa *hybrid effect* dari fraksi volume Al_2O_3 terhadap matrik polipropilen bernilai negatif. Pernyataan tersebut memberikan pengertian bahwa

penguat yang dipilih dalam hal ini adalah Al_2O_3 tidak sesuai jika dikombinasikan dengan matrik polipropilen.

4.4.2 Analisa Hubungan antara Temperatur Injeksi dengan Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik komposit ditunjukkan oleh tegangan *ultimate* pada diagram tegangan regangan yang diperoleh dari pengujian tarik. Dimana kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum (*ultimate*) sebelum putus (Bardji, 1992 : 76).

Penggambaran bagaimana pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik dapat kita lihat dari gambar 4.4 grafik hubungan antara temperatur injeksi dengan kekuatan tarik di bawah ini :



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara temperatur dengan kekuatan tarik

Dari gambar 4.4 di atas dapat dilihat pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik dengan variasi fraksi volume terjadi penurunan kekuatan tarik yang signifikan seiring dengan semakin meningkatnya temperatur injeksi.

Pada fraksi volume 0% pada temperatur 220⁰C diperoleh kekuatan tarik sebesar 34,43 N/mm² dan kekuatan tarik terus menurun sampai temperatur 250⁰C sebesar 26,74 N/mm². Untuk fraksi volume 5% pada temperatur 220⁰C diperoleh kekuatan tarik sebesar 37,73 N/mm² dan kekuatan tarik terus menurun sampai temperatur 250⁰C sebesar 30,11 N/mm². Untuk fraksi volume 10% pada temperatur 220⁰C diperoleh kekuatan tarik sebesar 33,7 N/mm² dan kekuatan tarik terus menurun sampai temperatur 250⁰C sebesar 24,57 N/mm². Untuk fraksi volume 15% pada temperatur 220⁰C

diperoleh kekuatan tarik sebesar $31,13 \text{ N/mm}^2$ dan kekuatan tarik terus menurun sampai temperatur 250°C sebesar $21,61 \text{ N/mm}^2$.



Gambar 4.5 Spesimen uji tarik pada temperatur 220°C (fraksi volume 10%)



Gambar 4.6 Spesimen uji tarik pada temperatur 230°C (fraksi volume 10%)



Gambar 4.7 Spesimen uji tarik pada temperatur 240°C (fraksi volume 10%)

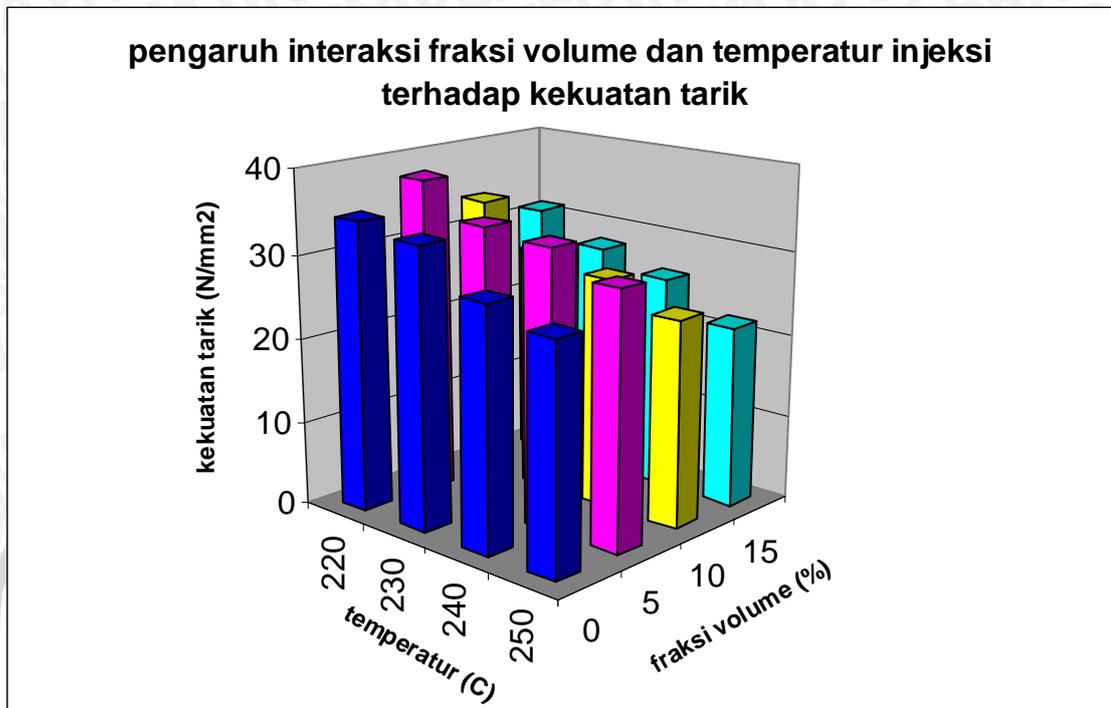


Gambar 4.8 Spesimen uji tarik pada temperatur 250°C (fraksi volume 10%)

Pada proses pencetakan dengan *injection molding*, salah satu parameter yang berpengaruh terhadap sifat mekanik adalah temperatur injeksi. Sifat mekanik yang sedang diteliti di sini hanya kekuatan tarik. Dari gambar 4.4 dapat digambarkan dengan semakin tingginya temperatur injeksi kekuatan tariknya justru semakin turun. Tingginya temperatur akan merusak ikatan kovalen primer dalam molekul matrik polipropilen, dalam keadaan yang lebih gawat lagi ikatan-ikatan tersebut akan putus. Hal ini dapat terlihat dari gambar 4.5 sampai dengan gambar 4.8 semakin tinggi temperatur menampakkan warna spesimen mulai berubah agak kekuning-kuningan sebagai tanda bahan akan terdegradasi. Dengan sendirinya, perubahan struktur akibat temperatur akan mempengaruhi sifat material dalam hal ini polipropilen (Sriati Djaprie, 1991 : 290). Keadaan seperti ini yang dinamakan bahwa stabilitas ikatan polimer menurun, hal ini yang mempengaruhi penurunan kekuatan tarik dari komposit.

4.4.3 Analisa Hubungan Interaksi Fraksi Volume dan Temperatur Injeksi terhadap Kekuatan Tarik

Interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik dapat dilihat pada gambar 4.9 grafik hubungan interaksi fraksi volume dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tarik di bawah ini :



Gambar 4.9 Grafik hubungan interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi dengan kekuatan tarik

Dengan menggunakan perhitungan statistik analisis varian dua arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 0,377 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 4,702. Yang berarti nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} . Hal ini dapat disimpulkan bahwa hubungan interaksi fraksi volume dan temperatur injeksi dengan kekuatan tarik komposit tidak memberikan pengaruh yang nyata pada kekuatan tarik komposit matrik polipropilen.

Dari gambar 4.9 di atas dapat dilihat kekuatan tarik tertinggi untuk pengaruh fraksi volume yaitu pada fraksi volume 5% dan terendah pada fraksi volume 15% untuk setiap variasi temperatur. Hal ini dimungkinkan kemampuan mengikat dari matrik polipropilen menurun dan tidak terjadinya ikatan yang kuat antara matrik polipropilen dan penguat Al_2O_3 , sehingga diperlukan cairan tertentu untuk mengikatnya dengan kuat. Terbukti ketika terjadi patah saat pengujian tarik, dari patahan tadi masih terdapat serbuk Al_2O_3 yang belum terikat. Untuk pengaruh temperatur kekuatan tarik tertinggi terjadi pada temperatur $220^{\circ}C$ dan terus menurun sampai kekuatan tarik terendah pada temperatur $250^{\circ}C$ untuk setiap variasi fraksi volume. Hal ini dimungkinkan semakin tinggi temperatur stabilitas ikatan polimer semakin menurun lebih gawat lagi akan

terjadi pemutusan ikatan selanjutnya lebih jauh lagi polimer akan terdegradasi dengan sendirinya. Indikasi ini yang menyebabkan komposit mengalami penurunan kekuatan tarik.

4.4.4 Foto Spesimen

Dari hasil pengujian tarik dapat diketahui bentuk permukaan patahan spesimen komposit polipropilen- Al_2O_3 dengan berbagai variasi fraksi volume Al_2O_3 dan temperatur injeksi yang ditunjukkan pada gambar 4.10 sampai 4.25



Gambar 4.10 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 220°C



Gambar 4.11 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 220°C



Gambar 4.12 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 220°C



Gambar 4.13 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 220°C



Gambar 4.14 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 230°C



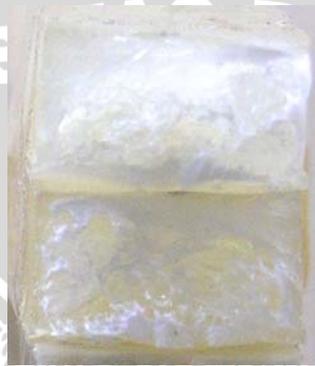
Gambar 4.15 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 230°C



Gambar 4.16 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 230°C



Gambar 4.17 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 230°C



Gambar 4.18 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 240°C



Gambar 4.19 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 240°C



Gambar 4.20 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 240°C



Gambar 4.21 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 240°C



Gambar 4.22 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 0%, temperatur 250°C



Gambar 4.23 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 5%, temperatur 250°C



Gambar 4.24 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 10%, temperatur 250°C



Gambar 4.25 Patahan spesimen uji tarik pada fraksi volume 15%, temperatur 250°C



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan dengan bertambahnya fraksi volume Al_2O_3 mulai 0 % sampai 5 % kemudian mengalami penurunan yang terus-menerus sampai fraksi volume Al_2O_3 15 %. Kekuatan tarik komposit tertinggi dicapai pada fraksi volume Al_2O_3 5 % pada temperatur injeksi 220°C sebesar $37,73 \text{ N/mm}^2$. Analisa *hybrid effect* diketahui bahwa Al_2O_3 memberikan efek negatif terhadap matrik polipropilen, hal ini terbukti dari nilai aktual yang lebih rendah daripada nilai teoritis dari fraksi volume 5%, 10% dan 15% untuk setiap variasi temperatur. Dan kekuatan tarik komposit mengalami penurunan yang sangat signifikan dengan semakin tingginya temperatur injeksi untuk setiap variasi fraksi volume. Interaksi antara fraksi volume dan temperatur injeksi tidak memberikan pengaruh yang nyata, hal ini dibuktikan dengan nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} pada analisis varian dua arah.

5.2 Saran

1. Diharapkan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut pemilihan penguat dan matriknya harus sesuai sehingga *hybrid effect* yang dihasilkan positif yang akan berimbas pada peningkatan kekuatan tarik komposit.
2. Perlu diperhatikan temperatur injeksi yang digunakan agar diperoleh kekuatan tarik yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams. 2002. *Aluminium Oxide(Al₂O₃)*. <http://www accuratus.com/alumox.html>
- 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.
- ASTM D638-97. *Tensile Properties of Plastics*
- Bose, Suryasarathi *et. al*. 2004. *Effect of particle size of filler on properties of Nylon-6*. University of Mumbai, India.
- Budinski, Keneth G. 1996. *Engineering Materials, Properties and Selection fifth edition*, New Jersey : Prentice Hall.
- Darmawan, Agung. 2006. *Pengaruh penggunaan bagasse sebagai penguat komposit matriks polypropylene terhadap tensile strength dan melting temperature-nya*. Skripsi. Tidak diterbitkan, Malang : Jurusan Mesin FT Unibraw.
- Djaprie, Sriati. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Hadi Pranoto,Bardji. 1992. *Teori Dasar Pengujian Logam*.Malang: Jurusan Mesin FT Universitas Brawijaya.
- Hifni. 1992. *Analisis Regresi*. Malang: Kopma Press.
- Hifni. 1992. *Analisis Varian dan Penerapannya*. Malang: Kopma Press.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Composite_material
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Polymer>
- Jastrzebski, Zbigniew D. 1987. *The Nature and Properties of Engineering Materials*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Matthews and Rawlings. 1994. *Composite Material: Engineering and Science*. London: Chapman & Hall.
- Prasetyo, Eko. 2006. *Pengaruh fraksi volume serbuk kayu dan temperature penginjeksian terhadap sifat mekanis komposit plastik serbuk kayu pada proses injeksi*. Skripsi. Tidak diterbitkan, Malang : Jurusan Mesin FT Unibraw.
- Schwartz , Mel M.1996. *Composite Material : Properties, Nondestructive Testing and Repair*, New Jersey : Prentice Hall.
- Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Bandung : Pradnya Paramita.

LAMPIRAN 2

Alat dan Bahan yang Digunakan

- Alat yang Digunakan



Injection Molding



Mesin Ayak Rotab



Mesin Pengujian Tarik



Cetakan Spesimen Uji Tarik



Jangka Sorong



Gergaji



Cutter



Timbangan Digital

- **Bahan yang Digunakan**



Al₂O₃ dan Polipropilen