

**PENGARUH UKURAN BUTIR *SODA LIME GLASS*
SEBAGAI PENGUAT KOMPOSIT Matrik POLIPROPLEN
TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**MUCHLASIN
NIM . 0210620085 – 62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT.
NIP. 130 531 861

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

**PENGARUH UKURAN BUTIR *SODA LIME GLASS*
SEBAGAI PENGUAT KOMPOSIT Matrik POLIPROPILEN
TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK**

Disusun Oleh:

MUCHLASIN
NIM. 0210620085-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Masduki, MM.
NIP. 130 350 754

Ir. Suharto, MT.
NIP. 131 131 025

Komprehensif

Ir. Saifuddin Baedowie
NIP. 130 350 753

Mengetahui
Ketua Jurusan Mesin

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

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohiim

Alhamdulillah, segala puji hanyalah milik Allah SWT. Yang Maha Agung. Atas ijin Allah SWT. penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Ukuran Butir *Soda Lime Glass* Sebagai Penguat Komposit matrik Polipropilen Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Dan Kekuatan Impak” dapat penulis selesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada:

- bunda dan Ayah yang penulis hormati dan muliakan, atas segala kasih sayang, pengorbanan, doa, dukungan dan segala hal yang tak terhitung dan tak terukur dengan apapun didunia ini, yang telah bunda dan ayah berikan kepadaku. Terimakasih atas ketulusan bunda dan ayah, semoga bunda dan Ayah dimuliakan oleh Allah SWT. dan selalu dalam ketakwaan dan ridlo-Nya.

Penyusunan skripsi ini dapat penulis selesaikan atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

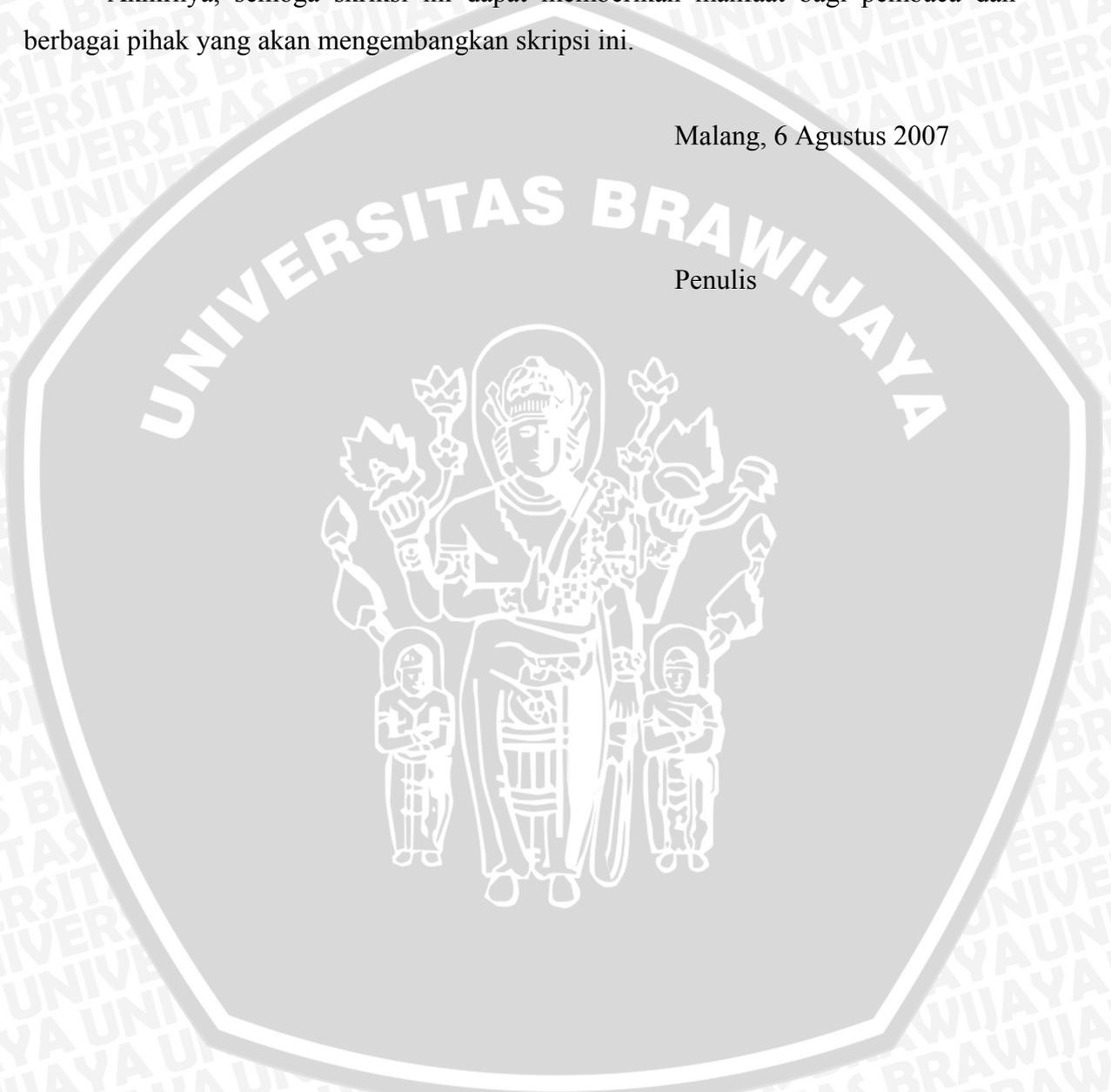
1. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT. dan Bapak Moch. Syamsul Ma’arif, ST. MT. selaku dosen pembimbing.
2. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT. selaku Ketua Jurusan dan Bapak Tjuk Oerbandono, ST. Msc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Winarno Yahdi A. MT. selaku Ketua Laboratorium Pengecoran Logam.
5. Sahabat-sahabat seperjuangan Tedy, Ali, Atak, Didik, Yudi, Didit, Opek, Adit, Bahrul ST, Mas Wisnu ST. (M’01), Syam, Habib, Mustakim, Sampek, Prima, Dion, Nur Indra, Aris, Aris (napi), Hasan ST, Gufron, Zaim ST, Sulis ST, Agus (M’03), Ferry, Yudi (mpek), Wisnu (tessi), Brian (M’00), Nanda, Rizal, Nafi’, Aji, Agung, Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
6. Seluruh *Syabab Hzb.* semoga tetap konsisten dalam perjuangan menegakkan Syari’ah Allah SWT. seperti firman Allah dalam surat Ali Imran:104.

Penulis menyadari dengan segala kerendahan hati bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, walaupun telah berusaha dengan sebaik-baiknya dalam penyusunan skripsi ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Maka dengan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar lebih baik.

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

Malang, 6 Agustus 2007

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
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 Sebelumnya.....	4
2.2 Pengertian Material Komposit	4
2.3 Klasifikasi material Komposit	5
2.3.1 Komposit Serat	5
2.3.2 Komposit Serbuk	6
2.3.3 Komposit Berlapis	7
2.4 Matrik	8
2.4.1 Termoset	9
2.4.2 Termoplastik	10
2.5 Pengisi (<i>Filler</i>).....	15
2.5.1 Serat sintetik	16
2.5.2 Serat Alami	16
2.5.3 Serbuk (<i>Particulate</i>)	16
2.6 Kaca (Glass) Sebagai Penguat	17
2.6.1 <i>Soda Lime Glass</i>	17
2.7 Teori Ikatan Mekanik Pada Komposit	18
2.8 Metode Pembuatan Komposit Polimer	18
2.9 Sifat-sifat Komposit	20
2.9.1 Tegangan-Regangan Bahan Polimer	20
2.9.2 Kekuatan Tarik	21
2.9.3 Kekuatan Impak	21
2.10 Hipotesis	23
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Variabel Penelitian.....	24
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan	25
3.5 Prosedur Penelitian	26
3.6 Metode Pengujian	27
3.6.1 Pengujian Kekuatan Tarik	27



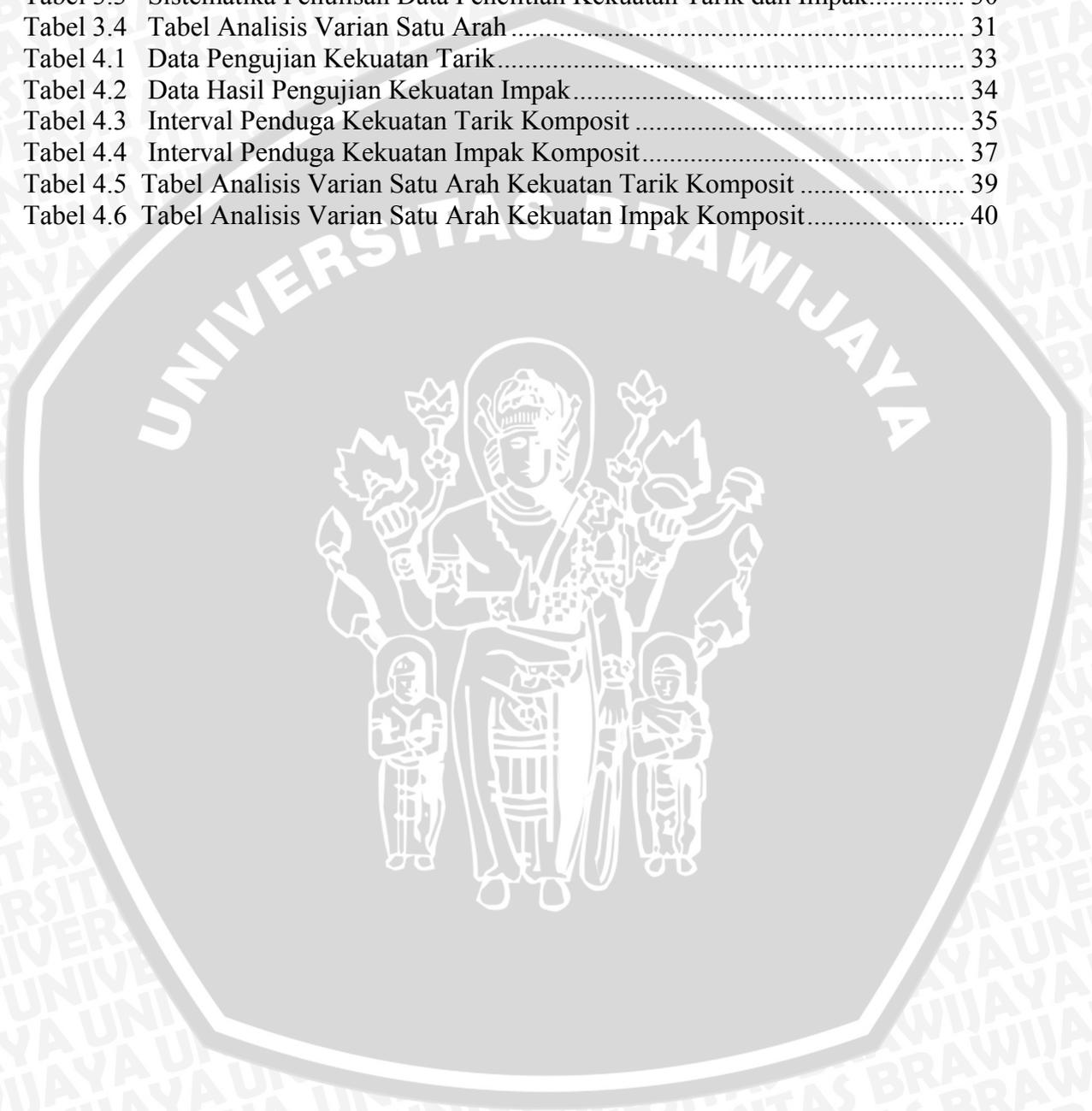
3.6.2 Pengujian Kekuatan Impak.....	28
3.7 Rancangan Penelitian.....	29
3.8 Analisis Statistik.....	29
3.8.1 Interval Penduga.....	29
3.8.2 Analisis Varian.....	29
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Data Hasil Pengujian.....	33
4.2 Analisis Statistik.....	34
4.2.1 Interval penduga.....	34
4.2.2 Analisis Varian.....	37
4.3 Pembahasan.....	41
4.3.1 Analisis Hubungan antara Ukuran Butir Serbuk <i>Soda Lime Glass</i> dengan Kekuatan Tarik Komposit.....	41
4.3.2 Analisis Hubungan antara Ukuran Butir Serbuk <i>Soda Lime Glass</i> dengan Kekuatan Impak Komposit.....	42
4.4 Foto Spesimen.....	44
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik	27
Tabel 3.2	Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Impak	28
Tabel 3.3	Sistematika Penulisan Data Penelitian Kekuatan Tarik dan Impak.....	30
Tabel 3.4	Tabel Analisis Varian Satu Arah	31
Tabel 4.1	Data Pengujian Kekuatan Tarik	33
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Kekuatan Impak	34
Tabel 4.3	Interval Penduga Kekuatan Tarik Komposit	35
Tabel 4.4	Interval Penduga Kekuatan Impak Komposit	37
Tabel 4.5	Tabel Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Tarik Komposit	39
Tabel 4.6	Tabel Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Impak Komposit	40



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema Penyusunan serat.....	5
Gambar 2.2	Komposit Partikel	6
Gambar 2.3	Komposit Berlapis	7
Gambar 2.4	Simbol Resin Polistiren.....	11
Gambar 2.5	Struktur dan Simbol Resin HDPE dan LDPE.....	13
Gambar 2.6	Simbol Resin Polipropilen	13
Gambar 2.7	Struktur kimia Polipropilen.....	14
Gambar 2.8	Simbol Resin ABS	15
Gambar 2.9	<i>Mechanical Bonding</i>	18
Gambar 2.10	Bagian-Bagian Mesin <i>Injection Moulding</i>	19
Gambar 2.11	Kelakuan Mulur dalam Kurva Tegangan-Regangan	20
Gambar 2.12	Alat Untuk Mengukur Kekuatan Impak	22
Gambar 3.1	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik	28
Gambar 3.2	Spesimen Pengujian Kekuatan Impak	28
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Diagram Tegangan- Regangan Komposit Serbuk Kaca-Polipropilen.....	38
Gambar 4.2	Diagram Kekuatan Tarik dan Ukuran Butir Komposit Serbuk Kaca <i>soda lime glass</i> -Polipropilen	41
Gambar 4.3	Diagram Kekuatan Impak dan Ukuran Butir Komposit Serbuk <i>Kaca soda lime glass</i> - Polipropilen	43
Gambar 4.4	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 45 μm	44
Gambar 4.5	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 90 μm	44
Gambar 4.6	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 160 μm	45
Gambar 4.7	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 250 μm	45
Gambar 4.8	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 315 μm	46
Gambar 4.9	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 45 μm	46
Gambar 4.10	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 90 μm	47
Gambar 4.11	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 160 μm	47
Gambar 4.12	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 250 μm	48
Gambar 4.13	Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 315 μm	48

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel-T
Lampiran 2	Tabel-F
Lampiran 3	Alat dan Bahan yang Digunakan



RINGKASAN

MUCHLASIN, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh Ukuran Butir Soda Lime Glass Sebagai Penguat Komposit Matrik Polipropilen Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak*, Dosen Pembimbing : Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT dan Moch. Syamsul Ma'arif, ST. MT.

Penggunaan material komposit mempunyai banyak keuntungan antara lain bobotnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik. Hasil akhir (permukaan) yang baik, biaya produksi lebih murah dan tahan terhadap korosi. Sedangkan kelemahannya, peka terhadap perubahan temperatur yang drastis, perbaikannya lebih sulit bila terjadi kerusakan. Untuk meningkatkan sifat mekanik komposit, bahan pengisi (*filler*) ditambahkan ke matrik komposit berupa serat ataupun serbuk (*particulate*). Dengan menggunakan *filler* mineral anorganik ke komposit polimer akan dapat meningkatkan kekuatan mekaniknya. Pada umumnya sifat mekanik dari komposit polimer dengan *filler* serbuk sangat tergantung pada ukuran butir, bentuk dan distribusi butir *filler* pada matrik polimer dan adhesifitas yang baik pada permukaan kontak. Sampah kaca yang menjadi masalah bagi lingkungan dapat dimanfaatkan sebagai pengisi atau penguat untuk komposit polipropilen.

Penelitian ini, meneliti tentang pengaruh ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* terhadap Kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit serbuk kaca-polipropilen. Variasi ukuran butir yang digunakan pada penelitian ini adalah 45 μm , 90 μm , 160 μm , 250 μm , 315 μm . Kemudian dilakukan pengujian tarik dan pengujian impak sebanyak tiga kali pengulangan.

Dari hasil pengolahan data penelitian dan pembahasan didapatkan bahwa semakin kecil ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan. Sedangkan kekuatan impaknya juga semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass*.

Kata kunci : Komposit, Polipropilen, *soda lime glass*, Ukuran butir, Injeksi, Kekuatan Tarik, Kekuatan impak.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan material komposit mempunyai banyak keuntungan antara lain bobotnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik. Hasil akhir (permukaan) yang baik, biaya produksi lebih murah dan tahan terhadap korosi. (Schwartz, 1996:5). Banyak penelitian dilakukan untuk mengembangkan material komposit dengan sifat (*properties*) yang lebih baik, salah satunya meningkatkan sifat mekanik. Peningkatan kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan impak merupakan contoh dalam upaya meningkatkan sifat mekanik material komposit yang lebih baik. Untuk meningkatkan sifat mekanik komposit, bahan pengisi (*filler*) ditambahkan ke matrik komposit berupa serat ataupun serbuk (*particulate*). Komposit dengan *filler* serbuk menjadi sangat atraktif karena aplikasi yang luas dan biayanya rendah. Dengan menggunakan *filler* mineral anorganik ke komposit plastik akan dapat meningkatkan kekuatan mekaniknya. Pada umumnya sifat mekanik dari komposit polimer dengan *filler* serbuk sangat tergantung pada ukuran butir, bentuk dan distribusi butir *filler* pada matrik polimer dan adhesifitas yang baik pada permukaan kontak (Suryasarathi Bose, 2004). Partikulat yang banyak digunakan sebagai pengisi bahan matrik komposit seperti alumina, kaolin, *mica*, pasir silika, *flyash* dll.

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 $0,928 \text{ g/cm}^3$.

Sampah kaca akhir-akhir ini menjadi masalah disebabkan karena sifat-sifat yang dimiliki kaca, antara lain tidak dapat membusuk, tidak terurai secara alami, tidak dapat menyerap air, maupun tidak dapat berkarat, dan pada akhirnya menjadi masalah bagi lingkungan. Sebanyak 5% dari total sampah yang terkumpul di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) setiap harinya adalah sampah kaca berupa pecahan-pecahan kaca dan pecahan-pecahan botol-botol minuman bersoda. Meskipun banyak pemulung yang

memungut pecahan-pecahan kaca tersebut, tapi dengan harga yang relatif murah yakni Rp 100/kilogram, maka banyak pemulung yang lebih suka memungut sampah-sampah seperti kertas, botol-botol kaca yang masih utuh, dan plastik dari pada memungut dan mengumpulkan pecahan-pecahan kaca tersebut (Media Indonesia, 2006).

Dari permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan serbuk kaca yang diolah dari sampah kaca sebagai *filler* komposit. Sehingga sampah kaca yang sulit terdegradasi tidak menjadi masalah bagi lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali. Serbuk kaca *soda lime glass* sebagai *filler* yang berupa serbuk mempunyai ukuran butir yang bervariasi. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh ukuran butir serbuk kaca sehingga akan didapatkan ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* yang dapat menghasilkan kekuatan tarik dan kekuatan impak yang maksimum.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh ukuran butir *filler* serbuk kaca *Soda Lime Glass* sebagai penguat komposit polipropilen-*soda lime glass* terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Serbuk kaca yang dipakai adalah sampah kaca jenis *soda lime glass*
2. Polimer termoplastik yang digunakan sebagai matrik adalah polipropilen
3. Di dalam komposit, kaca disusun dalam bentuk serbuk.
4. Perbandingan material filler penguat dan matrik menggunakan fraksi volume 20% kaca dan 80% polipropilen.
5. Tidak membahas pengaruh temperatur dan tekanan injeksi.
6. Spesimen dibuat dengan proses pencetakan injeksi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran butir serbuk *Soda Lime Glass* sebagai penguat komposit polipropilen-*soda lime glass* terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Pemanfaatan sampah kaca sebagai bahan baku dalam pembuatan material komposit dapat menekan biaya produksi.
2. Penggunaan sampah kaca sebagai material penguat dalam komposit, dapat memberikan nilai guna yang lebih dengan menjadikannya bahan baku material baru.
3. Mengurangi masalah lingkungan yang berhubungan dengan sampah-sampah yang sulit terdegradasi oleh alam.
4. Memberikan hasil penelitian dalam bidang rekayasa material.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Suryasarathi Bose, 2004 melakukan penelitian dengan menggunakan *filler flyash* dan matrik yang digunakan adalah *nylon 6*. Dari Penelitian ini disimpulkan bahwa komposit dengan ukuran butir *filler flyash* yang lebih kecil mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan impaknya yang lebih tinggi dari pada *filler flyash* dengan ukuran butir yang lebih besar.

Issam S. Jalham, (2005) pada penelitiannya memperkuat karet (*rubber*) dengan *filler* pasir silika (*silica sand*). Dengan memvariasikan ukuran butir dari pasir silika sebagai penguat, hasil yang didapat adalah semakin kecil ukuran butir pasir silika, kekuatan tarik dari komposit semakin meningkat.

Sulis, 2006 melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi volume serbuk kaca *soda lime glass* pada komposit matrik polipropilen terhadap kekuatan mekaniknya. Pada penelitian itu diambil kesimpulan bahwa Kekuatan tarik (*Tensile strength*) dan kekuatan lentur (*Bending strength*) komposit mengalami peningkatan dengan bertambahnya fraksi volume serbuk kaca mulai 10 % sampai 30 %.

2.2 Pengertian Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara 2 material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan material-material itu tidak saling melarutkan (Smith,2004). Pada komposit material yang satu berfungsi sebagai pengisi (*filler*) atau seringkali disebut sebagai penguat karena didalam komposit fungsinya untuk memperkuat, sedangkan material yang lainnya yaitu matrik berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Keuntungan dari material komposit apabila didesain dengan baik akan menghasilkan kualitas yang lebih baik dan akan didapatkan sifat-sifat baru yang tidak dimiliki oleh material penyusun komposit tersebut. Dalam penyusunan komposit salah satu material penyusun dapat ditentukan fraksi volumenya untuk mendapatkan sifat akhir yang diinginkan ([http://en.wikipedia.org/wiki/ Composite _material](http://en.wikipedia.org/wiki/Composite_material)).

Komposit serbuk kaca plastik adalah komposit yang terbuat dari plastik sebagai matrik dan serbuk kaca sebagai pengisi (*filler*), yang mempunyai sifat

gabungan keduanya. Penambahan *filler* ke dalam matrik bertujuan meningkatkan kekakuan, dan mengurangi biaya per unit volume.

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

1. Bobotnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik.
2. Tahan terhadap korosi.
3. Hasil akhir (permukaan) yang baik.
4. Biaya produksi lebih murah.

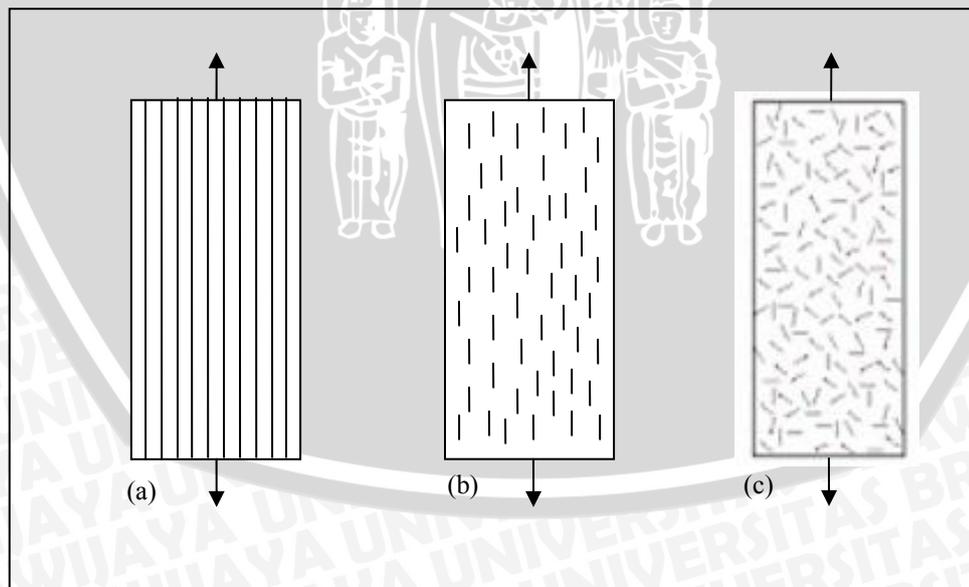
Kekurangan dari material komposit adalah :

1. Beberapa bahan penyusun komposit mudah terbakar.
2. Peka terhadap perubahan temperatur yang drastis.
3. Perbaikannya lebih sulit bila terjadi kerusakan.

2.3 Klasifikasi Material Komposit

2.3.1 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Fibrous composite materials (material komposit serat) terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat. Matriks 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 matriks.



Gambar 2.1 Skema Penyusunan Serat (a) Serat Panjang yang Disusun Kontinyu

(b) Serat Pendek Tidak Kontinyu, dan (c) Serat Acak Tidak Kontinyu

Sumber : Anderson, 1990 : 328

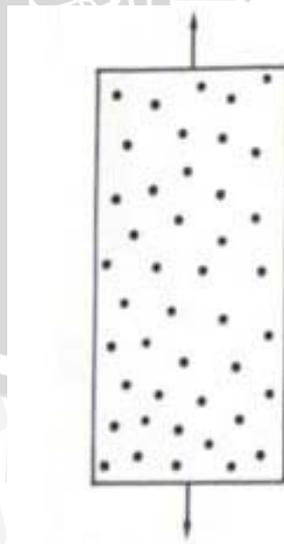
Di dalam komposit, serat disusun dengan berbagai macam skema untuk menentukan sifat mekaniknya. Skema penyusunan serat juga menentukan kemudahan proses pembuatan material komposit. Anderson, (1990 : 328) menyatakan bahwa terdapat tiga skema penyusunan serat pada material komposit serat (Gambar 2.1),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

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

Serat kontinyu adalah serat yang digunakan sama panjang dengan panjang material komposit yang akan dibuat. Sedangkan serat acak tidak kontinyu adalah serat pendek yang disusun secara acak dengan cara *mixing* sehingga komposit dianggap homogen.

2.3.2 Komposit Serbuk (*Particulate Composite*)

Komposit jenis ini menggunakan butiran sebagai penguat. Penguat yang biasa digunakan antara lain keramik dan gelas sebagai partikel mineral, aluminium sebagai partikel logam dan karbon hitam. Serbuk yang digunakan pada material komposit bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus/gesek, kekerasan bahan, atau untuk mengurangi biaya produksi. Komposit dengan penguat partikel biasanya mempunyai ketahanan 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.

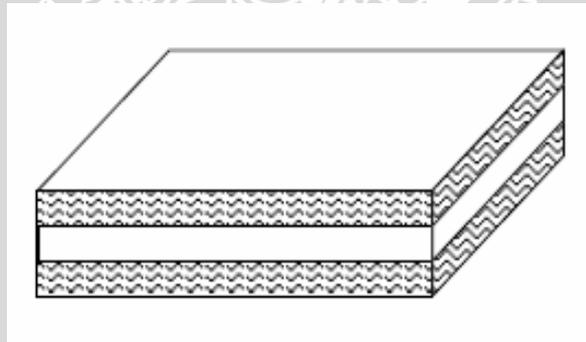


Gambar 2.2 Komposit Partikel
Sumber : Mattews and Rawling, 1994 : 8

Pada intinya ketika dikenai beban, matrik memindahkan sebagian tegangan ke *filler*, tingkat penguatan atau peningkatan sifat mekanik tergantung pada kekuatan ikatan pada permukaan antara matrik dan *filler*, ikatan yang kuat akan memberikan penguatan yang lebih besar. Ukuran butir mempunyai pengaruh pada sifat (*properties*) material. Untuk penguatan yang efektif, butir serbuk harus memiliki ukuran butir yang kecil dan terdistribusi kedalam matrik dengan baik. Begitu juga dengan fraksi volume matrik dan *filler* juga berpengaruh pada sifat mekanik, sifat mekanik akan meningkat dengan meningkatkan fraksi volume *filler*. Hal ini sesuai dengan rumus *rule of mixture* $E_c = E_m V_m + E_f V_f$ dengan E adalah modulus elastisitas, V adalah fraksi volum sedangkan m adalah matrik dan f adalah *filler* (Callister, 1984: 392).

2.3.3 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 lapis dibentuk dari lapisan-lapisan lamina dengan berbagai macam penyusunan arah serat yang telah ditentukan yang disebut laminat.



Gambar 2.3 Komposit Berlapis
Sumber : Antonia Yulian Taurista

Komposit lapis dibentuk dari lapisan-lapisan lamina dengan berbagai macam penyusunan arah serat yang telah ditentukan yang disebut laminat, hasil pelapisan berupa :

- **Clad Metal**, adalah gabungan dua bahan untuk mendapatkan sifat yang lebih baik, seperti pelapisan Aluminium pada kekuatan tinggi yang korosif dengan Aluminium yang tahan korosi.
- **Laminated Glass**, konsep perlindungan sebuah material dengan material lain seperti *Clad Metal* pada gelas. Bagaimanapun juga gelas sangat getas dan pecahannya sangat berbahaya. Lapisan plastik Polivinil butynol yang

mempunyai sifat ulet (memiliki regangan tinggi tanpa terdapat pecahan) dan fleksibel diletakkan di antara dua lapisan gelas. Gelas dalam bentuk komponen akan mempunyai kekuatan yang baik dan melindungi plastik dari goresan.

- **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.

2.4 Matrik

Schwartz (1996: 44) mengemukakan bahwa matrik dalam material komposit mempunyai peran sebagai berikut :

- Sebagai bahan pengikat *filler*.
- Pendistribusi beban yang dikenakan pada material komposit kepada *filler*.
- Memberi perlindungan *filler* terhadap keadaan lingkungan yang kurang baik.
- Melindungi *filler* dari kerusakan eksternal seperti pengausan secara mekanik.

Secara umum matrik terdiri dari 3 macam :

- Polimer.
- Logam.
- Keramik.

Polimer adalah molekul raksasa (makromolekul) yang tersusun dari satuan-satuan kimia sederhana yang disebut monomer, misalnya etilena, propilena, isobutilena, dan butadiena (merupakan produk samping pembuatan bensin serta pelumas) (Smith, 2004). Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron (Surdia, 1984:171).

Saat ini polimer digunakan secara luas (epoxy, polyester, dll), karena sifat polimer yang lebih ringan dan tidak korosif dibandingkan dengan logam serta harga yang relatif murah jika dibanding dengan keramik. Tata Surdia (1984:171) mengemukakan, polimer terbuat dari ribuan unit molekul kecil yang disebut *monomer*. Proses penggabungan molekul-molekul tersebut dinamakan polimerisasi dan jumlah unit dalam molekul besar yang tersusun dinamakan derajat polimerisasi. Nama-nama dari polimer yang tersusun dari awalan poli dan diikuti nama satuan kimia atau

monomernya, misalnya poliester tersusun dari poli dan ester. Secara umum terdapat dua macam polimer yaitu termoset dan termoplastik.

Sifat-sifat khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut (Surdia, 1984:172) :

1. Mampu cetak adalah baik. Pada temperatur rendah bahan dapat dicetak dengan injeksi, penekanan ekstrusi dan seterusnya. Hal ini menyebabkan ongkos lebih rendah dari pada bahan logam atau keramik.
2. Produk yang ringan dan kuat dapat dibuat. Berat jenis polimer yang rendah dibandingkan dengan logam dan keramik, memungkinkan membuat barang yang kuat dan ringan.
3. Banyak diantara polimer bersifat isolasi listrik yang sangat baik.
4. Produk-produk dengan sifat yang berbeda dapat dibuat tergantung cara pembuatannya. Dengan mencampur pengisi dan sebagainya sifat-sifat polimer dapat berubah.
5. Dibandingkan dengan logam dan keramik polimer kurang tahan terhadap panas yang tinggi.
6. Kekerasan permukaan bahan polimer kurang jika dibandingkan dengan kekerasan permukaan keramik dan logam.

2.4.1 Termoset

Termoset adalah salah satu jenis polimer yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat. Matrik jenis ini memiliki rantai-rantai molekul yang saling berhubungan sehingga walaupun mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif. Matrik 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 kelebihan penggunaan termoset sebagai matrik (Schwartz, 1996: 46-47) adalah :

- Mengikat serat dengan resin secara mudah dan baik.
- Memiliki viskositas yang rendah.
- Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat.
- Biaya peralatan murah.
- Tahan terhadap kelembaban.

Jenis – jenis termoset yaitu:

1. Poliester

Poliester merupakan resin cair yang mudah dibentuk dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan. Poliester merupakan resin dengan viskositas rendah, sehingga memungkinkan bercampur dengan pengisi atau penguat (serat) dalam jumlah yang banyak. Berdasarkan karakteristik tersebut, bahan ini dikembangkan secara luas sebagai plastik dengan penguat serat khususnya pada industri pesawat terbang, komponen otomotif, konstruksi bangunan, dan perkapalan. Poliester memiliki ketahanan kimia yang baik. Bila dimasukkan dalam air mendidih untuk waktu yang lama (300 jam), bahan ini akan pecah dan retak-retak. Bahan ini mudah mengembang dalam pelarut, yang melarutkan stiren. Kemampuan terhadap cuaca yang sangat baik. Tahan terhadap kelembaban dan sinar U.V bila dibiarkan diluar, tetapi sifat tembus cahaya permukaan rusak dalam beberapa tahun.

2. 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, sedikit *volatiles* (gas-pengotor), stabilitas ukuran yang baik, ketahanan termal yang tinggi, dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu.

3. Resin Fenol

Resin fenol adalah jenis termoset pertama yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Memiliki sifat kestabilan dimensi yang baik, rambatan patahan yang lambat, ketahanan kimia yang baik, dan emisi racun yang rendah pada saat terbakar. Selain itu resin fenol mempunyai mempunyai sifat kekerasan yang tinggi, kekakuan yang baik dan kekuatan yang dikombinasikan dengan ketahanan panas, ketahanan kimia serta kemampuan isolasi listrik yang baik. Material ini banyak digunakan sebagai *telephone relay system*, pada otomotif digunakan sebagai *component brake*.

2.4.2 Termoplastik

Resin ini mempunyai ikatan linear antara monomer-monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya akan relatif rendah. Reaksi kimia pada termoplastik resin yang bersifat reversibel memungkinkan suatu komponen untuk dibentuk kembali. Termoplastik mempunyai sifat isolator yang baik, mempunyai

ketahanan sampai temperatur 260 °C, mudah dibentuk (proses), dan tahan terhadap korosi yang sangat baik.

Macam-macam termoplastik antara lain:

1. Polistiren

Resin jenis ini mudah dalam pengerjaannya, murah biayanya, sedikit menyerap air tetapi strukturnya rapuh serta memiliki tahanan panas dan kimia yang rendah. Polistiren tidak berwarna dan merupakan resin transparan yang dapat diwarnai secara bening. Masa jenisnya lebih rendah dari polietilen dan polipropilen. sifat ketahanan terhadap cuacanya agak rendah. Polistiren mudah larut dalam pelarut hidrokarbon aromatik, tahan terhadap asam dan alkohol.



Gambar 2.4 Simbol Resin Polistiren
Sumber : www.EarthOdyssey.net

Polistiren akan lunak pada temperatur sekitar 95⁰C dan menjadi cairan kental pada 120-180⁰C dan menjadi encer pada temperatur 250⁰C, kemudian akan terurai diatas 320-330⁰C. Oleh karena itu dibandingkan jenis termoplastik yang lain, bahan ini mempunyai dekomposisi termal (penguraian karena panas) yang lebih tinggi.

2. Nilon

Nilon lebih unggul dalam kekuatan tarik dan kekuatan impak dan termasuk golongan tahan abrasi dan pelumasan yang paling menguntungkan diantara jenis polimer yang lain. Bahan ini tidak larut dalam alkohol, hidrokarbon, eter tetapi larut dalam dalam fenol. Ketahanan asam dari nilon sangat jelek.

Kalor pelelehan nilon tinggi, karena viskositas lelehan tergantung temperatur, temperatur penguraian berada dekat pada temperatur titik leleh, maka temperatur harus dikontrol ketat. Pada pencetakan perlakuan panas dapat diberikan untuk menghilangkan tegangan sisa, dengan pemanasan didalam parafin cair atau minyak pengeras terhadap kelebihan air pada 10 - 20⁰C lebih tinggi daripada temperatur kerja.

Nilon kebanyakan digunakan dalam bentuk serat. Bahan ini masa jeninya kecil, dengan koefisien gesek tinggi, dan kekuatan tekuknya sangat baik. Sebagai serat

industri nylon banyak digunakan untuk pembuatan tambang, benang ban mobil, jaring ikan, ban konveyor. Selain itu karena unggul dalam hal pelumasan dan ketahanan abrasi, maka banyak digunakan untuk bantalan, bantalan luncur, roda gigi tanpa bunyi dan mengabsorpsi getaran dan komponen mesin pintal. Dikehidupan sehari-hari nylon digunakan sebagai kancing baju, tempat tinta, tangki minyak pelumas, alat pancing dan sebagainya.

3. Poliasetal

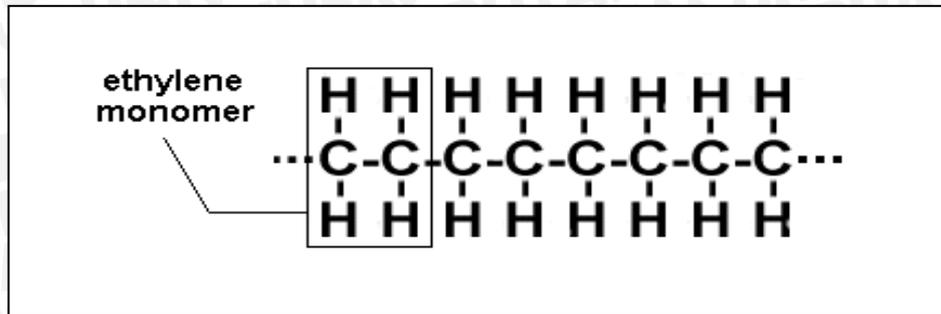
Sifat yang dimiliki poliasetal adalah molekulnya tak bercabang, bila dibandingkan dengan polikarbonat, maka kekuatan tarik dan kekuatan tekuknya hampir sama, unggul dalam keadaan tekan dan agak kurang dalam ketahanan impaknya. Bahan mempunyai modulus elastisitas yang tinggi, bahan ini termasuk kelompok dengan bahan dengan ketahanan leleh paling tinggi, dan ketahanan abrasinya paling baik setelah nylon. Bahan terurai pada atau diatas 220°C dan melepaskan gas formalin.

Temperatur pencetakan adalah $190-220^{\circ}\text{C}$. Karena bahan terurai oleh pemanasan yang lama, maka perlakuan harus diselesaikan dalam waktu pendek. Bahan ini tergolong dalam kelompok dengan penyusutan pencetakan tertinggi 1-3.5%. Bahan ini unggul ditinjau dari kekuatan, ketahanan melar dan ketahanan abrasi. Bahan juga lebih ringan daripada logam, unggul dalam pelumasan diri dan menguntungkan dalam kemampuan pencetakan, sehingga bahan ini digunakan secara luas untuk roda gigi, bantalan, komponen mesin produksi, mobil dan bahan bangunan.

4. Polietilen

Polietilen dapat diperoleh dari polimerisasi gas etilen, yang dapat diperoleh dengan memberi hidrogen gas petroleum pada pemecahan (fraksi) minyak, gas alam atau asetilen. Polipropilen digolongkan menjadi tiga yaitu Polipropilen masa jenis rendah (LDPE) dengan masa jenis $0,910-0,926 \text{ g/cm}^3$, Polipropilen masa jenis menengah (MDPE) dengan masa jenis $0,926-0,940 \text{ g/cm}^3$, dan Polietilen masa jenis tinggi (HDPE) dengan masa jenis $0,941-0,965 \text{ g/cm}^3$.

Pada temperatur rendah bersifat fleksibel tahan impak dan tahan bahan kimia. Karena itu dipakai untuk berbagai keperluan termasuk untuk pembuatan berbagai wadah, alat dapur, berbagai barang kecil, botol-botol, tempat minyak tanah, pipa, isolator kabel listrik, kantong tempat sampah dan sebagainya.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.5 (a) Struktur Polietilen (b) Simbol Resin HDPE dan (c) LDPE
 Sumber : [www. EarthOdyssey.net](http://www.EarthOdyssey.net)

Sifat-sifat kimia bahan polietilen adalah larut dalam hidrokarbon aromatik tetapi tidak ada pelarut yang dapat melarutkan polietilen secara sempurna pada temperatur biasa. Kalau dipanaskan tanpa berhubungan dengan oksigen, hanya mencair sampai 300⁰C, kemudian terurai jika melampaui temperatur tersebut. Tetapi kalau dipanaskan dengan disertai adanya oksigen akan teroksidasi walaupun baru 50⁰C. Film polietilen sangat sukar ditembus air, tetapi mempunyai permeabilitas yang cukup tinggi terhadap CO₂, pelarut organik, parfum dan sebagainya. Polietilen masa jenis tinggi kurang permeabel daripada polietilen dengan masa jenis rendah.

5. Polipropilen



Gambar 2.6 Simbol Resin Polipropilen
Sumber : [www. EarthOdyssey.net](http://www.EarthOdyssey.net)

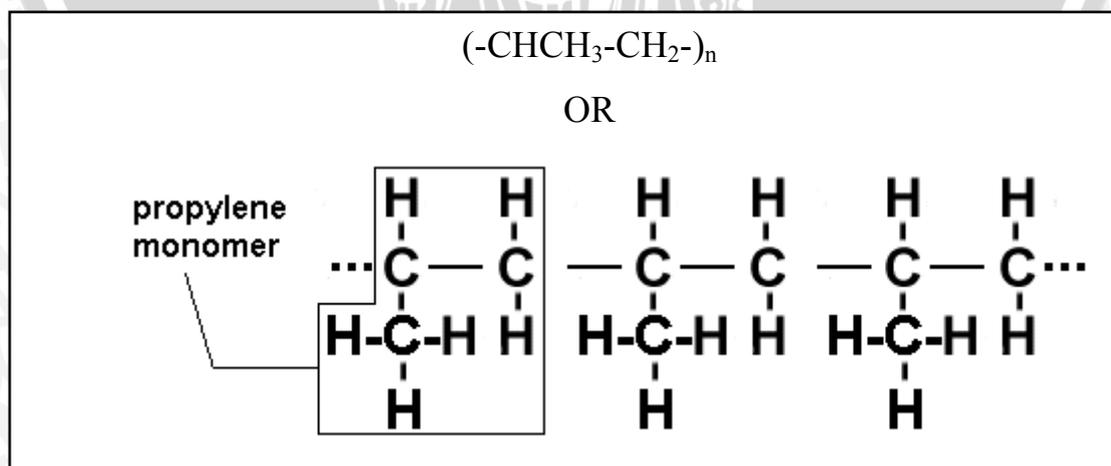
Polipropilen adalah sebuah polimer termoplastik, Polipropilen banyak dipakai sebagai bahan dalam produksi peralatan meja makan, keranjang, peralatan kamar mandi, keperluan rumah tangga, mainan, peralatan listrik, kemasan makanan, peralatan laboratorium, komponen otomotif, dan lain sebagainya. Penggunaan yang luas itu berkat mampu cetaknya yang baik, permukaannya yang licin mengkilat, penyusutan pada pencetakan kecil, penampilan dan ketelitiannya dimensinya lebih baik. Polipropilen biasanya diproses melalui proses *injection moulding* dengan temperatur pemrosesan antara 173 – 180 °C (Jacobs, 1997 : 430).

Karakteristik Polipropilen :

1. Nama kimia : *poly(1-methylethylene)*
 2. Rumus Kimia : $(C_3H_6)_x$
 3. Sinonim : *Polypropylene; Polypropene, Propene polymers; Propylene polymer*
 4. Monomer : *Propilene*
- (Sumber : [http:// en.wikipedia.org/wiki/polypropylene](http://en.wikipedia.org/wiki/polypropylene))
5. Masa Jenis : 0.9 g/cm³
 6. Kekuatan Tarik : 25-38 (N/mm²)
 7. Modulus Elastisitas : 10 -14 (N/mm².10²)
 8. Titik Leleh : 175 °C

(Sumber: Mathews, F.L, 1994 : 175)

Gambar dibawah ini menunjukkan struktur kimia dari Polipropilen :



Gambar 2.7 Struktur kimia Polipropilen
Sumber : [www. EarthOdyssey.net](http://www.EarthOdyssey.net)

Polipropilen mempunyai masa jenis rendah (0.90 g/cm^3) . termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer. Dibandingkan dengan HDPE (*high density Polyethylene*) kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekakuannya lebih tinggi, tetapi ketahan impaknya rendah terutama pada suhu rendah. Sifat tembus cahayanya pada pencetakan lebih baik dari Polietilen dengan permukaan yang mengkilap. Polipropilen mempunyai sifat mampu cetak yang baik seperti halnya Polietilen. Karena faktor penyusutan Polipropilen lebih kecil dari pada Polietilen maka produk yang dihasilkan akan mempunyai ketelitian dimensi yang baik.

Sifat mekaniknya dapat ditingkatkan sampai batas tertentu dengan menambahkan penguat baik serbuk ataupun serat.pemuaian termal juga dapat diperbaiki sampai setingkat dengan resin termoset. Ketahanan kimianya hampir sama bahkan lebih baik daripada HDPE. Dalam hidrokarbon aromatik, larut pada temperatur 80°C atau lebih tetapi pada temperatur biasa hanya membengkak. Oleh karena itu sukar diolah dengan perekatan seperti halnya Polietilen yang memerlukan perlakuan tertentu pada permukaannya.

6. 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.



Gambar 2.8 Simbol Resin ABS
Sumber : [www. EarthOdyssey.net](http://www.EarthOdyssey.net)

2.5 Pengisi (*Filler*)

Filler ditambahkan ke dalam matrik dengan tujuan meningkatkan sifat-sifat mekanis plastik melalui penyebaran tekanan yang efektif di antara *filler* dan matrik, serta mengurangi biaya dan memperbaiki beberapa sifat produknya (Smith, 1994). *Filler* dapat berupa serat atau serbuk (*particulate*).

2.5.1 Serat Sintetik

Serat aramid atau yang lebih dikenal dengan nama *kevlar*, merupakan contoh dari serat sintetik, material *kevlar* ini dikembangkan oleh Du Pont. Serat kevlar memiliki bobot yang lebih ringan dibanding serat karbon dan serat gelas namun harganya lebih mahal. Serat ini memiliki kelebihan diantaranya adalah kemampuan untuk meredam getaran yang baik, juga ketahanan terhadap beban dampak lebih besar dibanding dengan serat karbon.

Contoh lain dari serat sintetik adalah serat karbon dengan sifat mekanis yang bagus, dibuat dari bahan baku selulosa atau turunannya. Serat karbon sanggup dibebani tegangan besar tanpa uluran sehingga matrik bertegangan minimum. Serat karbon dan grafit dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan akan komponen yang memiliki bobot ringan mungkin namun dengan kekuatan yang hampir setara dengan material logam serta modulus elastisitas yang tinggi. Karena sifat-sifatnya, bahan ini (dalam material komposit) banyak digunakan sebagai komponen pesawat. Tetapi kerugian dari material ini adalah harganya yang relatif lebih mahal.

2.5.2 Serat Alami (*Natural Fiber*)

Selama berabad-abad serat alami telah dipakai sebagai bahan untuk membuat keranjang, tali temali, ataupun permadani. Serat alami yang digunakan dalam berbagai aplikasi kebanyakan diperoleh dari tumbuh-tumbuhan yang ada di sekitar kita. Beberapa penelitian pada penggunaan serat alami, menunjukkan bahwa terdapat beberapa serat *biorenewable* seperti, eceng gondok, serat nanas, serabut kelapa, dan lain sebagainya, yang pantas atau layak digunakan sebagai *filler* dalam aplikasi material komposit saat ini.

2.5.3 Serbuk (*Particulate*)

Saat ini partikulat yang banyak digunakan sebagai pengisi bahan matrik komposit seperti alumina, kaolin, mica, serbuk kaca, silica dll. Komposit dengan *filler* serbuk menjadi sangat atraktif karena aplikasi yang luas dan biayanya rendah. Dengan

menggunakan *filler* mineral anorganik ke plastik dapat meningkatkan sifat fisik (*physical properties*) seperti kekuatan mekaniknya. Pada umumnya sifat mekanik dari komposit polimer dengan *filler* serbuk sangat tergantung pada ukuran butir, bentuk dan distribusi butir *filler* pada matrik polimer dan adhesifitas yang baik pada permukaan kontak (Suryasarathi Bose dan P.A. Mahanwar, 2004).

2.6 Kaca (Glass) Sebagai Penguat

Kaca secara umum dikenal dan dimengerti sebagai benda yang transparan, lumayan kuat, biasanya tidak bereaksi dengan barang kimia, dan tidak aktif secara biologi yang bisa dibentuk dengan permukaan yang sangat halus dan kedap air (www.wikipedia.com/glass). Namun dalam sudut pandang *engineering* terdapat definisi tersendiri, yaitu kaca merupakan bahan inorganik sebagai hasil proses peleburan yang telah mengalami pendinginan tanpa terjadi kristalisasi (Jastrzebski, 1987: 362)

2.6.1 Soda Lime Glass

Soda Lime Glass adalah kaca yang terdiri dari 70-75% pasir silika (SiO_2), 12-18% soda (Na_2O), dan 5-14% kapur perekat (CaO) (Jastrzebski, 1987: 363). *Soda lime glass* merupakan tipe kaca yang paling banyak digunakan. Digunakan untuk kaca jendela dan botol dengan proses pembuatan yang sangat murah. *Soda lime glass* dapat dibuat dengan cara meleburkan campuran pasir silika, sodium karbonat dan kalsium karbonat. Penambahan sodium karbonat (Na_2O) akan menurunkan titik leleh dari kaca sehingga akan menurunkan energi yang diperlukan untuk memanaskan kaca, akan tetapi penambahan sodium karbonat membuat lelehan kaca larut dalam air. Untuk menghindari ini, pada pembuatan kaca ditambahkan Kalsium karbonat (CaO) (www.wikipedia.com/sodalime)

Karakteristik *soda lime glass* (www.wikipedia.com/sodalime) :

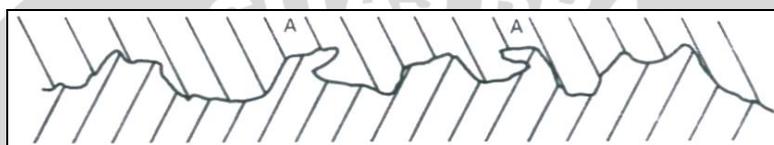
- | | |
|------------------------|--|
| 1. Masa jenis | : 2.483 g/cm ³ |
| 2. Modulus Elastisitas | : 7.2×10^{10} (N/m ²) |
| 3. Modulus geser | : 3.0×10^{10} (N/m ²) |
| 4. Titik Leleh | : ± 1000 °C |

Keuntungan dari penggunaan kaca jenis ini adalah mudah untuk dilebur, memiliki harga yang paling murah dibanding dengan jenis kaca yang lainnya. Kerugiannya adalah karena memiliki muai termal yang tinggi menyebabkan *soda lime glass* cenderung mengalami kegagalan akibat kejutan termal. Kaca jenis ini sering

digunakan dalam bidang arsitektur (jendela), otomotif (*flat glass*), *lighting tube* (untuk lampu *neon*), elektrik (*tube* untuk komponen radio), kemasan (botol, gelas minuman).

2.7 Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*) pada komposit

Matriks cair akan menyebar ke seluruh permukaan pengisi dan mengisi setiap lekuk dan permukaan pengisi yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*) seperti pada Gambar 2.9 dan semakin kasar permukaan serat penguat maka semakin kuat ikatan yang terbentuk.



Gambar 2.9 *Mechanical Bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 62

2.8 Metode Pembuatan Komposit Polimer

2.8.1 *Injection Moulding*

Injeksi plastik adalah 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 (*mould*) sehingga didapatkan bentuk yang diinginkan. Mold dapat didefinisikan sebagai cetakan, atau proses yang dipergunakan dalam industri manufaktur untuk mencetak material.

Material termoplastik yang biasa dicetak dengan teknik *Injection Molding* : Polipropilen, Polistirene, *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Proses pencetakan injeksi plastik banyak digunakan untuk membuat berbagai jenis produk plastik mulai dari peralatan rumah tangga sampai dengan komponen-komponen mesin perkakas seperti penggunaan bahan roda gigi dari poliasetal, Keyboard, mouse, panel TV, pesawat telepon merupakan hasil pengolahan plastik dengan menggunakan teknik *injection molding*. (anif, 2007)

Penggunaan proses injeksi plastik didasarkan atas kelebihan-kelebihan

- Dapat dihasilkan produk tanpa pengerjaan akhir yang rumit.
- Kapasitas produksi yang tinggi.

- 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

1) Proses Injeksi.

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

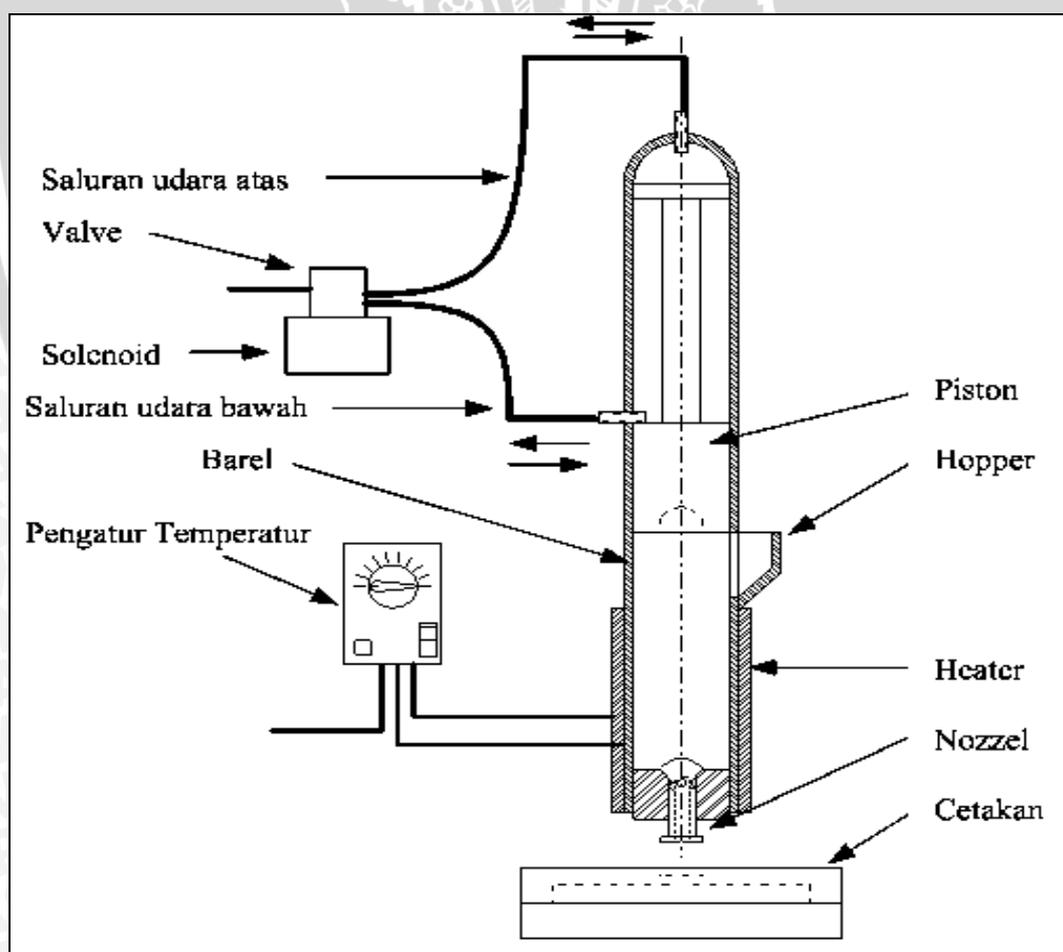
2) Proses Penahanan cetakan

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

3) Proses Pengeluaran Produk.

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

2.8.1.1 Mesin *Injection Moulding*



Gambar 2.10 Bagian-Bagian Mesin *Injection Moulding*
Sumber : Laboratorium pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang

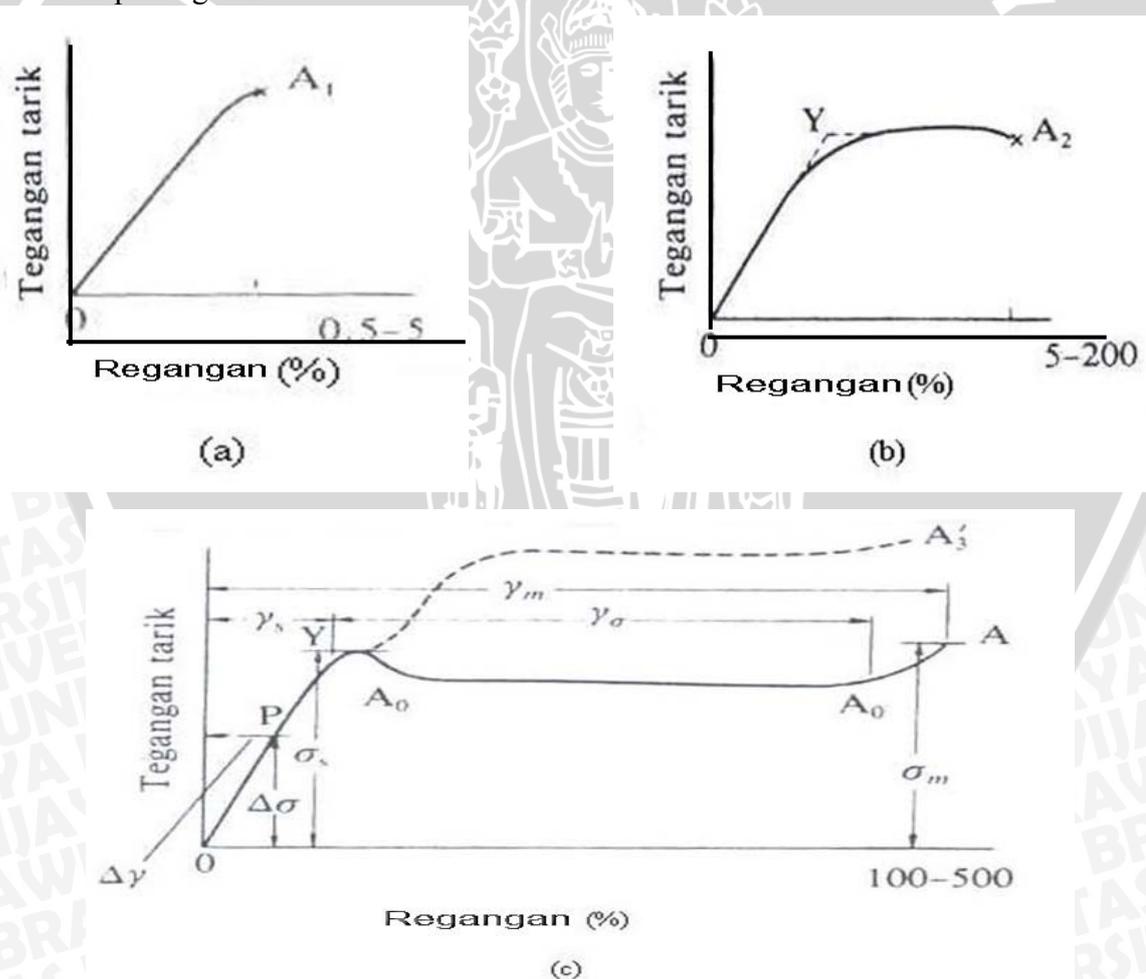
Fungsi dari masing-masing bagian mesin *injection moulding* sebagai berikut :

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

2.9 Sifat-Sifat Komposit

2.9.1 Tegangan-Regangan Bahan Polimer

Gambar 2.11 yang ditunjukkan oleh 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 polistiren yang bersifat patah getas.



Gambar 2.11 Kelakuan Mulur dalam Kurva Tegangan-Regangan
Sumber : Tata Surdia, 1995 : 181

Pada gambar 2.12 berada di antara (a) dan (c) yang tidak menunjukkan penurunan beban setelah titik mulur seperti halnya yang ditunjukkan pada (c) tetapi hanya satu titik infleksi, jadi beban meningkat yang mengakibatkan patah. Bahan yang termasuk jenis ini adalah resin ABS, asetat dan resin fluoro.

Pada jenis selanjutnya, yang ditunjukkan pada (gambar 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.

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 (a), sedangkan resin termoplastik sering berubah dari kelakuan (a) ke (c) apabila temperatur meningkat (Tata Surdia, 1995 : 181).

2.9.2 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik dari luar, dinyatakan oleh banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen.

Untuk semua nilai regangan

$$\sigma_c' = \sigma_f' V_f + \sigma_m' V_m \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana σ' menunjukkan nilai tegangan pada nilai regangan utama dan V menunjukkan perbandingan fraksi volume komponen di dalam komposit. Indeks *c*, *f* dan *m* menunjukkan komposit, *filler* dan matrik.

2.9.3 Kekuatan Impak

Umumnya kekuatan impak bahan polimer lebih kecil daripada kekuatan impak bahan logam. Pada umumnya sifat-sifat yang dimiliki tersebut dapat diperbaiki dengan menambahkan bahan pengisi (*filler*) yang cocok kedalam matrik. Macam dan bentuk pengisi memberikan pengaruh banyak.

Kekuatan kejut dinyatakan oleh banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan specimen. Energi yang diperlukan untuk mematahkan specimen merupakan tenaga impak yang berasal dari energi potensial pendulum, karena pendulum dipasang pada ketinggian tertentu. Bila dilepaskan maka energi potensial pendulum

berkurang dan menjadi energi kinetik. Energi ini nantinya sebagian diserap oleh spesimen untuk mematahkan spesimen dan sebagian hilang karena adanya gesekan pada poros pendulum.

- Energi aktual yang diperlukan

$$A = A_a - f \dots\dots\dots (2.2)$$

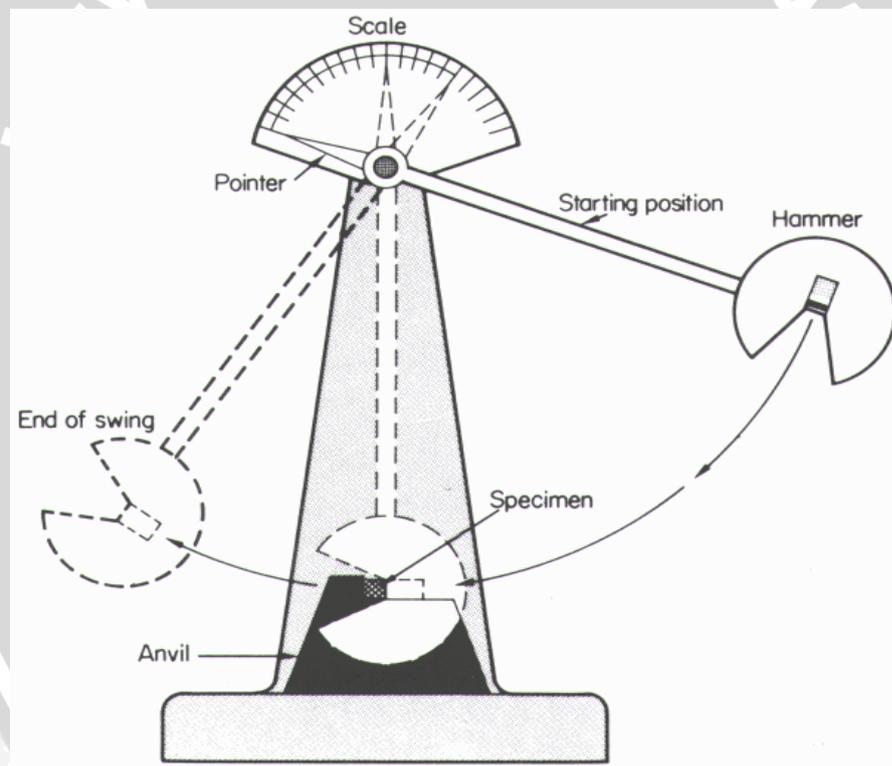
- Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen tiap luasan penampang

$$A_k = A/F_o \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: A_a = Energi yang diperlukan secara ideal dalam satuan N.mm

f = Kerugian energi pada alat dalam satuan N.mm

F_o = Luas penampang spesimen



Gambar 2.12 *Apparatus to measure impact strength*
Sumber : Schaffer, 1999

2.10 Hipotesis

Berdasarkan penelitian sebelumnya serta teori kajian pustaka diketahui bahwa sifat mekanik dari komposit polimer dengan *filler* serbuk sangat tergantung pada ukuran butir, bentuk *filler* pada matrik polimer dan adhesitas yang baik pada permukaan kontak

(Suryasarathi Bose,2004). Dari Penelitian sebelumnya diketahui bahwa ukuran butir *filler* silika dan *Flyash* yang lebih kecil akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit. Berdasarkan hal ini dapat disusun hipotesa sebagai berikut: Semakin kecil ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* maka Kekuatan tarik dan kekuatan impak dari komposit polipropilen-serbuk kaca *soda lime glass* akan meningkat.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*). Setelah benda kerja dibuat kemudian dilakukan pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak. Data-data dan informasi tambahan atau yang mendukung penelitian ini diperoleh melalui kajian literatur dari buku, internet dan jurnal.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang direncanakan untuk menentukan hasil sebuah proses atau variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi besar ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* dengan matriknya polipropilen. Variasi besar ukuran butir serbuk kaca yang digunakan adalah sebesar 45 μm , 90 μm , 160 μm , 250 μm , 315 μm .

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan didapat setelah proses dilakukan. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah :

1. Kekuatan tarik (N.mm⁻²).
2. Kekuatan impak (J.mm⁻²).

3.2.3 Variabel Terkendali

- a. Fraksi volume material komposit yaitu 20% *filler* serbuk kaca *soda lime glass* dan 80% matrik polipropilen.
- b. Temperatur pada proses injeksi sebesar 200 °C.
- c. Tekanan injeksi sebesar 8 bar.



3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

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

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

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 kekuatan tarik

Merek : Universal Tarno Grocky

Kapasitas : 100 kN

Mesin ini memiliki tiga skala pengukuran beban, yaitu :

I : 0 – 20 kN

II : 0 – 50 kN

III : 0 – 100 kN

c. Timbangan *digital*

Merek : METTLER

d. Mesin Pengujian Impak

Merek : Promes Charpy Impact Test

$\beta = 120^\circ$ L = 0,62 m

$\alpha_0 = 115^\circ$ m = 8,1 Kg

e. Mesin ayak *rotab*

Merek : Retsh

Tipe : VS 1

Voltage : 220 V

Daya : 430 W

Buatan : Jerman

- f. Cetakan spesimen
- g. Jangka sorong
- h. Kertas gosok

3.4.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Polypropylene*.
- b. *Soda lime glass* daur ulang dalam bentuk serbuk.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pembuatan serbuk kaca

- a. Mengumpulkan pecahan-pecahan kaca jenis *soda lime glass*.
- b. Mencuci dan membersihkan pecahan-pecahan kaca jenis *soda lime glass* sampai kering.
- c. Menyiapkan tumbukan yang terbuat dari besi agar hasilnya lebih halus.
- d. Menumbuk kaca *soda lime glass* sampai halus.
- e. Serbuk *soda lime glass* yang telah halus diayak dalam mesin ayak *rotab* sesuai ukuran butir yang diinginkan..
- f. Serbuk kaca siap untuk digunakan.

3.5.2 Pembuatan spesimen komposit

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

1. Dilakukan penimbangan *soda lime glass* dan resin polipropilen sesuai dengan fraksi volume yang diinginkan.
2. Pencampuran *soda lime glass* dan resin polipropilen dilakukan dengan metode *dry mixing*, kemudian dimasukkan dalam *injection moulding* dengan suhu 200°C.
3. Tekanan yang digunakan untuk proses *injection moulding* komposit matrik polipropilen adalah sebesar 8 bar.
4. Lelehan komposit yang keluar dari *nozzle* mesin *injection moulding*, disalurkan dan dicetak ke dalam cetakan (*moulding*) menjadi spesimen uji sesuai dengan standar ASTM.

5. Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan *finishing* untuk menghilangkan bekas saluran dan sirip agar sesuai dengan dimensi standar.
6. Pengukuran dimensi spesimen, kemudian spesimen diampelas untuk mendapatkan permukaan yang sevarian.

3.6 Metode Pengujian

3.6.1 Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

3.6.1.1 Prosedur Pengujian Tarik

Spesimen pengujian tarik dibuat dengan proses *injection moulding* pada cetakan yang telah disiapkan sesuai dengan ASTM D638-97. Proses dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi ukuran butir. 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 :

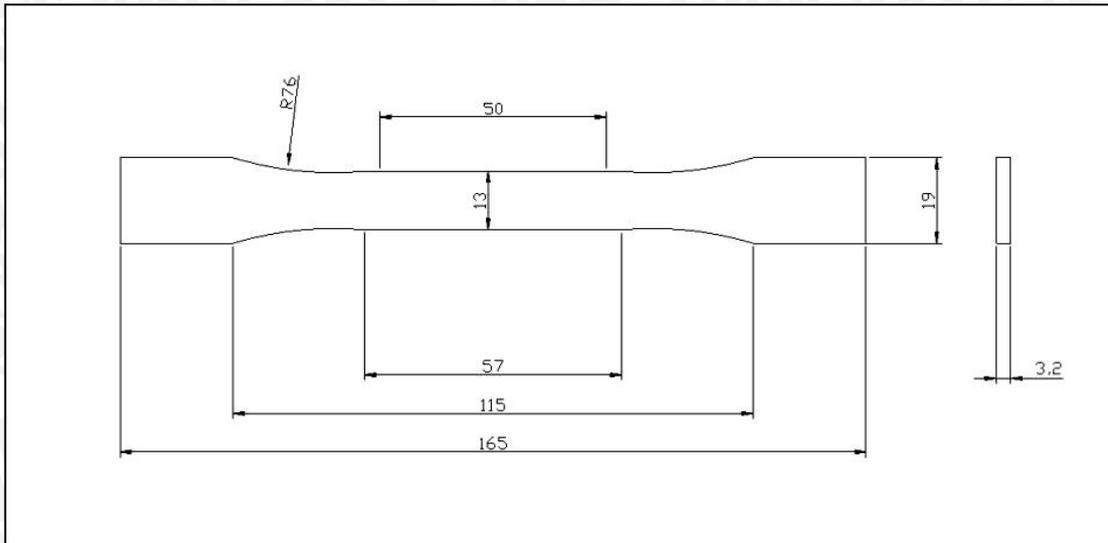
1. Spesimen dipasang erat pada cekam penjepit.
2. Alat uji tarik diatur pada debit fluida hidrolis sebesar 1,2 liter/menit, dengan pembebanan pada posisi I, skala pertambahan panjang 0 mm, dan jarum beban pada posisi 0 (nol).
3. Mesin dinyalakan, dan dilakukan pengamatan dengan teliti terhadap beban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

3.6.1.2 Dimensi Spesimen

Spesimen pengujian tarik dibuat dengan proses *injection moulding* pada cetakan yang telah disiapkan sesuai dengan ASTM D638-97. Proses pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi ukuran butir serbuk *soda lime glass*

Tabel 3.1 Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

<i>Width of narrow section</i>	<i>Length 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>	<i>Thickness</i>
13 mm (0,50 in)	57 mm (2,25 in)	19 mm (0,75 in)	165 mm (6,5 in)	50 mm (2,00 in)	115 mm (4,5 in)	76 mm (3,00 in)	3,2 ± 0,4 mm (0,13 ± 0,02 in)



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

3.6.2 Pengujian Kekuatan Impak Komposit

3.6.2.1 Pengujian Impak

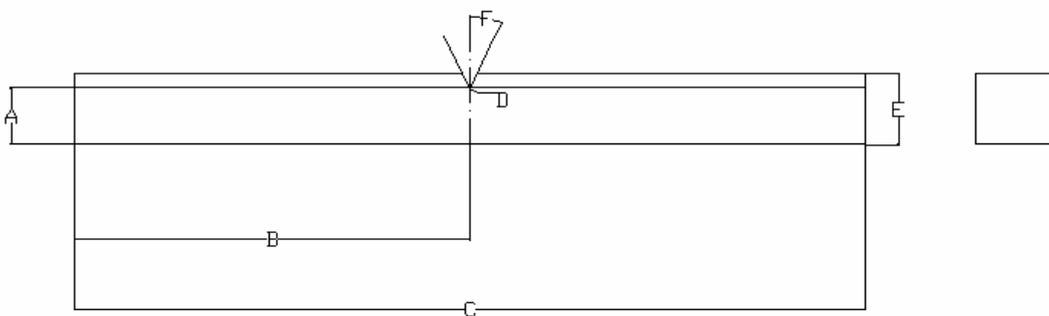
Spesimen uji kekuatan impak dibuat dengan bentuk batangan komposit sesuai dengan ASTM D256-81, kemudian dilakukan pengujian material sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing-masing variasi ukuran butir pada mesin impak.

3.6.2.2 Dimensi Spesimen

Dimensi spesimen pada pengujian kekuatan lentur dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Impak

A	B	C	D	E	F
10,16± 0,05	63,50	127,00	0,25 R	12,7±0,5	22,5 ± 0,5



Gambar 3.2 Spesimen Pengujian Kekuatan Impak
 Sumber : ASTM D256-81, *Impact Properties of Plastics*

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.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian satu arah.

3.8 Analisis Statistik

3.8.1 Interval Penduga

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(3.1)$$

- Standar Deviasi

$$s^2 = \frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1} \dots\dots\dots(3.2)$$

- Standar Deviasi rata-rata

$$s = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3.3)$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - t \left[\frac{\alpha}{2}; db \right] \frac{s}{\sqrt{6}} < \mu < \bar{x} + \left[\frac{\alpha}{2}; db \right] \frac{s}{\sqrt{6}} \dots\dots\dots(3.4)$$

3.8.2 Analisis Varian Satu Arah

Analisis varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5,$ dan μ_6 . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$ (variasi ukuran butir serbuk kaca tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik dan kekuatan dampak)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6$ (variasi ukuran butir serbuk kaca memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik dan kekuatan dampak)

Pengamatan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 3.3 Sistematika Penulisan Data Penelitian Kekuatan Tarik dan Dampak

Replikasi	Ukuran Butir (μm)				
	45	90	160	250	315
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	Y_{51}
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}	Y_{52}
3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}	Y_{53}
Σ	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5

Berdasarkan pada tabel :

$$1. \text{ Jumlah seluruh perlakuan} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$2. \text{ Jumlah kuadrat seluruh perlakuan} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \dots \dots \dots (3.6)$$

3. Faktor koreksi (FK)

$$fk = \frac{\left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right]^2}{nk} \dots \dots \dots (3.7)$$

4. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - fk \dots \dots \dots (3.8)$$

5. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - fk \dots \dots \dots (3.9)$$

6. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \dots \dots \dots (3.10)$$

7. Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \dots\dots\dots (3.11)$$

8. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{db} \dots\dots\dots (3.12)$$

9. Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \dots\dots\dots (3.13)$$

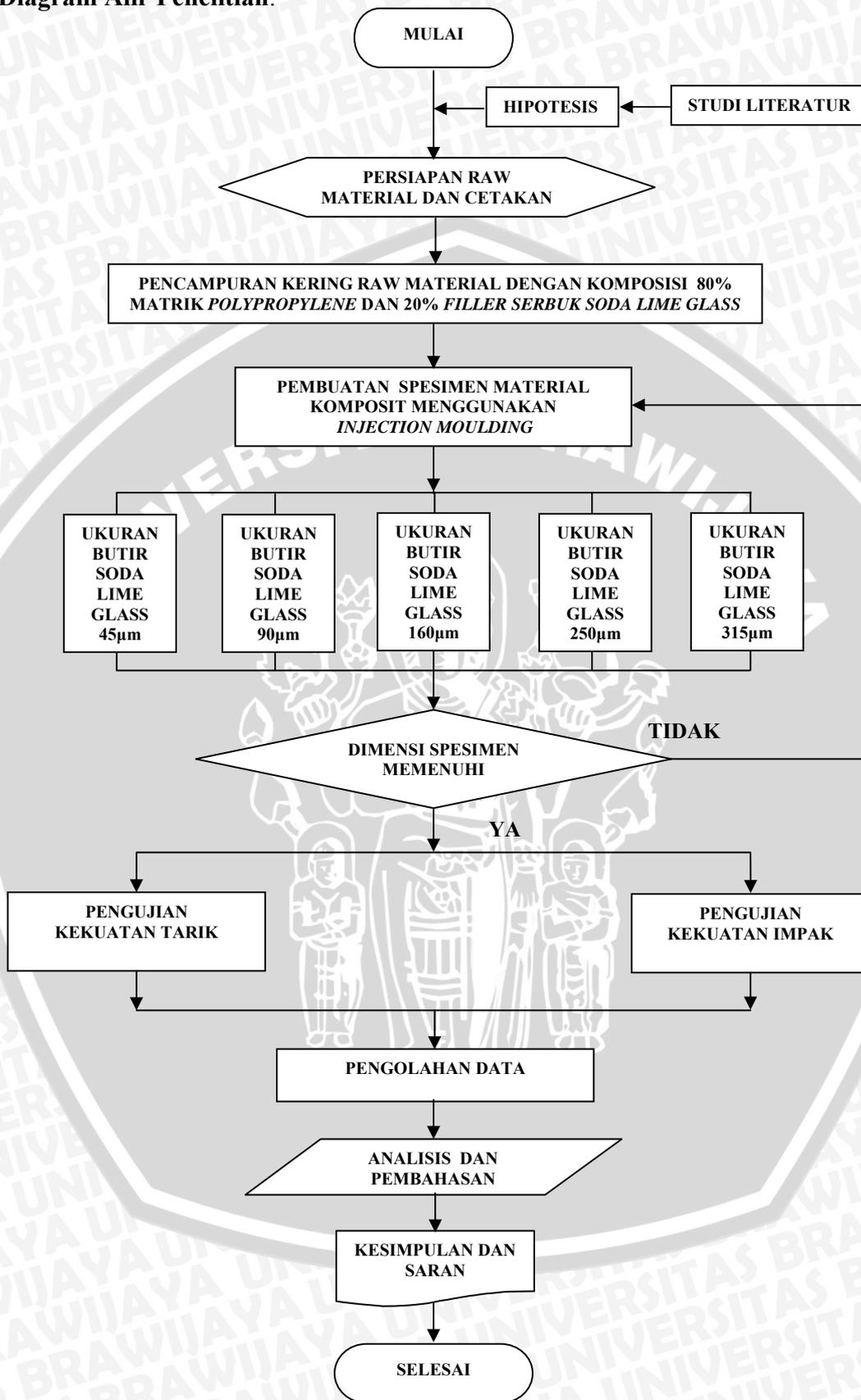
Tabel 3.4 Analisis Varian Satu Arah

Sumber Kevarianan	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	$F(\alpha, k, db)$
Galat	k(n-1)	JKG	KTG		
Total	nk-1	JKT			

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel}

1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak, menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara ukuran butir serbuk kaca (μm) terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact. Atau ukuran butir berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara ukuran butir serbuk kaca (μm) terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact. Atau ukuran butir tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact.

3.9 Diagram Alir Penelitian.



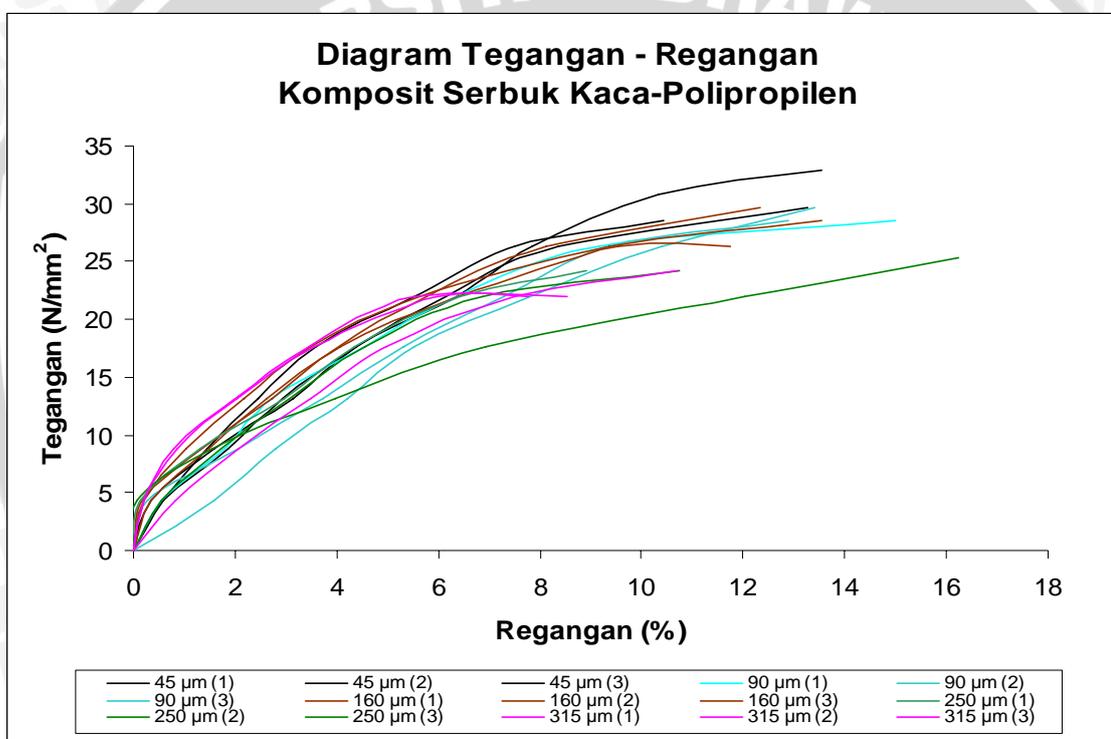
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Pengujian Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik komposit ditunjukkan oleh tegangan *ultimate* spesimen. Dari pengujian tarik didapatkan data beban dan pertambahan panjang kemudian diolah sehingga didapatkan diagram tegangan regangan seperti pada Gambar 4.1 dan dari diagram tersebut dapat diperoleh kekuatan tarik yang ditunjukkan oleh tegangan *ultimate* spesimen. Kemudian nilai kekuatan tarik dengan berbagai variasi ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* disusun pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Tegangan- Regangan Komposit Serbuk Kaca-Polipropilen

Tabel 4.1 Data Pengujian Kekuatan Tarik

Replikasi	Ukuran Butir (µm)				
	45	90	160	250	315
σ_1 (N/mm ²)	29,6703	28,5714	28,5714	24,1758	21,9780
σ_2 (N/mm ²)	32,9670	28,5714	29,6703	25,2747	21,9780
σ_3 (N/mm ²)	28,5714	29,6703	26,3736	24,1758	24,1758
Jumlah	91,2088	86,8132	84,6154	73,6264	68,1319
Rata - rata	30,4029	28,9377	28,2051	24,5421	22,7106

4.1.2 Data Pengujian Kekuatan Impak

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Impak

Replikasi	Ukuran Butir (μm)				
	45	90	160	250	315
Ak_1 (J/mm^2)	0,0296	0,0196	0,0196	0,0196	0,0147
Ak_2 (J/mm^2)	0,0347	0,0147	0,0196	0,0196	0,0147
Ak_3 (J/mm^2)	0,0296	0,0296	0,0196	0,0147	0,0147
Jumlah	0,0940	0,0639	0,0589	0,0539	0,0440
Rata - rata	0,0313	0,0213	0,0196	0,0180	0,0147

4.2 Analisis Statistik

4.2.1 Interval Penduga

4.2.1.1 Interval Penduga Kekuatan Tarik

Contoh perhitungan interval penduga kekuatan tarik diambil data dari salah satu hasil pengujian variasi ukuran butir serbuk kaca dengan ukuran butir $45\mu\text{m}$

- Data rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{91,2088}{3} \\ &= 30,4029\end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{10,46572}{3 - 1}} \\ &= 2,2875\end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{2,2875}{\sqrt{3}}\end{aligned}$$

$$= 1,3207$$

- Interval penduga

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

$$db = n-1$$

$$= 3-1 = 2$$

Dari tabel-T dengan $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$$

maka,

$$30,4029 - [(4,303)(1,3207)] < \mu < 30,4029 + [(4,303)(1,3207)]$$

$$30,4029 - 5,6830 < \mu < 30,4029 + 5,6830$$

$$24,7199 < \mu < 36,0860$$

Jadi interval penduga kekuatan tarik komposit untuk ukuran butir 45 μm sebesar 24,7199 N/mm² sampai 36,0860 N/mm² dengan tingkat keyakinan 95 %

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, interval penduga kekuatan tarik berbagai variasi ukuran butir serbuk kaca disusun pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Interval Penduga Kekuatan Tarik Komposit

Interval Penduga	Ukuran Butir Serbuk Kaca				
	45 μm	90 μm	160 μm	250 μm	315 μm
Kekuatan Tarik rata-rata	30,4029	28,9377	28,2051	24,5421	22,7106
Standar deviasi rata-rata	1,3207	0,3663	0,9691	0,3663	1,2689
Interval Penduga Kekuatan tarik	24,7199 < μ < 36,0860	27,3615 < μ < 30,5139	24,0349 < μ < 32,3753	22,9659 < μ < 26,1183	19,5582 < μ < 25,8630

4.2.1.2 Interval Penduga Kekuatan Impak

Contoh perhitungan interval penduga kekuatan impak diambil data dari salah satu hasil pengujian variasi ukuran butir serbuk kaca dengan ukuran butir 45 μm .

- Data rata-rata

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

$$= \frac{0,0940}{3}$$

$$= 0,0313$$

- Standar Deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,703892405}{3-1}}$$

$$= 0,0024$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

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

$$= \frac{0,0024}{\sqrt{3}}$$

$$= 0,0014$$

- Interval penduga

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

$$db = n-1$$

$$= 3-1 = 2$$

Dari tabel-T dengan $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$$

maka

$$0,0313 - [(4,303)(0,0014)] < \mu < 0,0313 + [(4,303)(0,0014)]$$

$$0,0313 - 0,0059 < \mu < 0,0313 + 0,0059$$

$$0,0254 < \mu < 0,0372$$

Jadi interval penduga kekuatan impact komposit dengan ukuran butir serbuk kaca $45\mu\text{m}$ didapatkan $0,0254 \text{ J/mm}^2$ sampai $0,0372 \text{ J/mm}^2$ dengan tingkat keyakinan 95%.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga kekuatan impact berbagai variasi ukuran butir serbuk kaca dan kemudian disusun pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Interval Penduga Kekuatan Impak Komposit

Interval Penduga	Ukuran Butir Serbuk Kaca				
	45µm	90µm	160 µm	250µm	315µm
Kekuatan Impact rata-rata	0,0313	0,0213	0,0196	0,0180	0,0147
Standar deviasi rata-rata	0,0014	0,0036	0	0,0013	0
Interval Penduga Kekuatan Impak	0,0254	0,0058	0,0196	0,0122	0,0147
	<µ<	<µ<	<µ<	<µ<	<µ<
	0,0372	0,0368	0,0196	0,0238	0,0147

4.2.2 Analisis Varian Satu Arah

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi ukuran butir serbuk kaca terhadap kekuatan impact dan kekuatan tarik komposit dapat diketahui dari hasil analisis variannya. Apabila nilai F_{hitung} yang diperoleh lebih besar dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji memberikan pengaruh yang nyata. Namun apabila F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak memberikan pengaruh yang nyata.

4.2.2.1 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Tarik

- Jumlah seluruh perlakuan

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

$$= 29,6703 + 32,9670 + 28,5714 + \dots + 21,9780 + 21,9780 + 24,1758$$

$$= 404,396$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

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

$$= (29,6703)^2 + (32,9670)^2 + (28,5714)^2 + \dots + (21,9780)^2 + (21,9780)^2 + (24,1758)^2$$

$$= 11046,975$$

- Faktor koreksi (fk)

$$fk = \frac{\left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right]^2}{nk}$$

$$= \frac{(404,396)^2}{15}$$

$$= 10902,387$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - fk \\ &= 11046,975 - 10902,387 \\ &= 144,588 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - fk \\ &= \frac{33078,1306}{3} - 10902,387 \\ &= 123,657 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 144,588 - 123,657 \\ &= 20,931 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\ &= \frac{123,657}{5-1} \\ &= 30,914 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{JKG}{db} \\ &= \frac{20,931}{10} \\ &= 2,093 \end{aligned}$$

- Nilai F_{hitung}

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{KTP}{KTG} \\ &= \frac{30,914}{2,093} \\ &= 14,769 \end{aligned}$$



Tabel 4.5 Tabel Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Tarik Komposit

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	123,657	30,914	14,769	3,48
Galat	10	20,931	2,093	-	-
Total	14	144,588	-	-	-

Dari tabel 4.5 analisis varian satu arah diatas diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel}, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi ukuran serbuk kaca *soda lime glass* sebagai penguat mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik komposit.

4.2.2.2 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Impak

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij} \\
 &= 0,0296 + 0,0347 + 0,0296 + \dots + 0,0147 + 0,0147 + 0,0147 \\
 &= 0,3147
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \\
 &= (0,0296)^2 + (0,0347)^2 + (0,0296)^2 + \dots + (0,0147)^2 + (0,0147)^2 + (0,0147)^2 \\
 &= 0,0072
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned}
 fk &= \frac{\left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right]^2}{nk} \\
 &= \frac{(0,3147)^2}{15} \\
 &= 0,0066
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - fk \\
 &= 0,0072 - 0,0066 \\
 &= 0,00062
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - fk \\
 &= \frac{0,0212}{3} - 0,0066 \\
 &= 0,00047
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKP \\
 &= 0,00062 - 0,00047 \\
 &= 0,00015
 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned}
 KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\
 &= \frac{0,00047}{5-1} \\
 &= 0,00012
 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$\begin{aligned}
 KTG &= \frac{JKG}{db} \\
 &= \frac{0,00015}{10} \\
 &= 0,000015
 \end{aligned}$$

- Nilai F_{hitung}

$$\begin{aligned}
 F_{hitung} &= \frac{KTP}{KTG} \\
 &= \frac{0,00012}{0,000015} \\
 &= 7,9047
 \end{aligned}$$

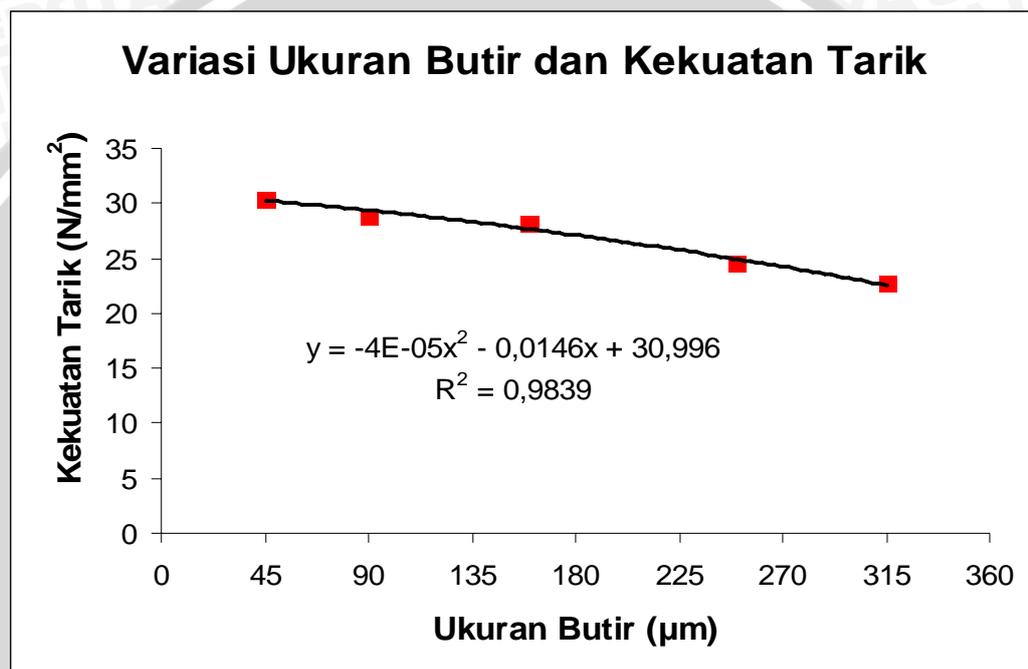
Tabel 4.6 Tabel Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Impak Komposit

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	0,00047	0,00012	7,9047	3,48
Galat	10	0,00015	0,000015	-	-
Total	14	0,00062	-	-	-

Dari tabel 4.6 analisis varian satu arah diatas diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} , maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi ukuran serbuk kaca *soda lime glass* sebagai penguat mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impact komposit.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisis Hubungan antara Ukuran Butir Serbuk Kaca *Soda lime glass* dengan Kekuatan Tarik Komposit



Gambar 4.2 Diagram Kekuatan Tarik dan Ukuran Butir Komposit Polipropilen-*soda lime glass*

Pada grafik 4.2 menunjukkan bahwa kekuatan tarik semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran butir *filler* serbuk kaca *soda lime glass*. Pada komposit dengan ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* 45μm kekuatan tariknya sebesar 30,4029 N/mm². Kekuatan tarik ini semakin turun pada komposit dengan ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* yang lebih besar. Jadi semakin kecil ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* maka kekuatan impact dari komposit polipropilen-*soda lime glass* mengalami peningkatan. berdasarkan rumus :

$$\frac{dT_{(impak)} / d(\mu m)}{dT_{(tarik)} / d(\mu m)} = 1$$

Kekuatan tarik akan optimal jika ukuran butir mendekati 0μm. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil perhitungan kekuatan tarik optimal sebesar 31,2315 N.mm⁻².

Penguatan pada komposit disebabkan adanya ikatan secara mekanik antara matrik dan *filler*, dimana matrik polipropilen mengisi setiap lekuk permukaan serbuk kaca ketika proses pencairan berlangsung. Ketika komposit dikenai beban, terjadi tegangan geser pada permukaan antara *filler* dan matrik di sekitarnya dan tegangan geser tersebut akan ditahan oleh ikatan mekanik antara matrik dengan *filler*. Djaprie (1991:600) mengemukakan bahwa semakin kecil ukuran *filler* maka semakin luas permukaan kontak antara *filler* dan matrik yang dapat menanggung beban geser. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa kekuatan tarik komposit serbuk kaca *soda lime glass* meningkat dengan semakin kecilnya ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass*. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* maka luas permukaan kontak matrik dan butir serbuk kaca yang dapat menahan beban geser lebih besar sehingga komposit menjadi lebih kuat. Hal ini sesuai dengan teori tentang luas permukaan (*surface area*) dan luas kontak (*contact area*) antara matrik dan *filler*. Jalham, (2005) mengemukakan bahwa kekuatan tarik berbanding terbalik dengan ukuran butir dari *filler*, dimana partikel yang terkecil mempunyai kekuatan tarik lebih besar dari pada butir yang lebih besar. Hal ini dikarenakan *filler* dengan ukuran butir yang lebih kecil mempunyai dispersi dan luas kontak yang lebih besar sehingga akan meningkatkan penahanan beban dan mendorong pada peningkatan kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada *filler* dengan ukuran butir yang lebih besar.

Kita tahu dengan pasti bahwa untuk masa yang sama, *filler* dengan ukuran butir yang lebih kecil mempunyai luas permukaan yang lebih besar dari pada butir yang lebih besar. Luas permukaan yang besar ini akan meningkatkan luasan kontak (*contact area*) antara matrik dan *filler*, sehingga mempunyai potensi lebih tinggi untuk memperkuat ikatan matrik dan *filler* (Vanderbilt, 2004). Dengan demikian semakin kuat ikatan mekanik antara matrik dan *filler*, maka komposit akan mampu menahan tegangan geser yang lebih besar pada permukaan antara *filler* dan matriknya, sehingga kekuatan tariknya akan meningkat

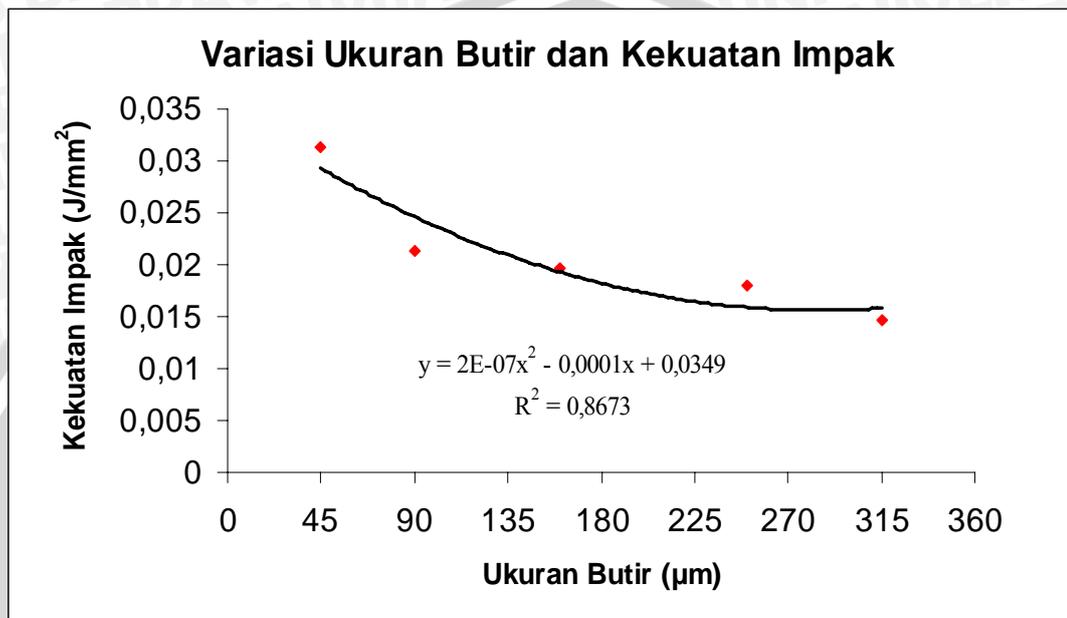
4.3.2 Analisis Hubungan antara Ukuran Butir Serbuk Kaca *Soda lime glass* dengan Kekuatan Impak Komposit.

Pada Grafik hubungan antara kekuatan impak dan ukuran butir, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan impak pada komposit dengan ukuran butir *filler* serbuk kaca *soda lime glass* yang lebih kecil. Ukuran butir 45 μm mempunyai kekuatan impak sebesar 0,031329 J/mm². Sedangkan kekuatan impak paling rendah sebesar

0,014665 J/mm² pada material komposit dengan ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* 315µm. Berdasarkan rumus :

$$\frac{dT_{(impak)} / d(\mu\text{m})}{dT_{(tarik)} / d(\mu\text{m})} = 1$$

Kekuatan impak akan optimal jika ukuran butir mendekati 0µm. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil perhitungan kekuatan impak optimal sebesar 0.0366 J/mm².



Gambar 4.3 Diagram Kekuatan Impak dan Ukuran Butir Komposit Polipropilen-*soda lime glass*

Terlihat jelas pada grafik bahwa kekuatan impak merupakan fungsi dari ukuran partikel. Ukuran butir berbanding terbalik dengan kekuatan impaknya yaitu semakin kecil ukuran butir maka kekuatan impaknya semakin meningkat. Vanderbilt (2004) mengemukakan “penguatan oleh *filler* akan lebih efektif jika ukuran *filler* lebih kecil. *Filler* dengan ukuran butir yang lebih kecil mempunyai luas permukaan yang lebih besar sehingga akan mempunyai lebih banyak kontak permukaan yang tersedia dan lebih berpotensi untuk memperkuat ikatan mekanik antara matrik dan *filler* dari pada butir yang lebih besar.” Dengan semakin kuatnya ikatan antara matrik dan *filler* maka kekuatan impak komposit akan semakin besar karena dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan mekanik antara matrik dan *filler*.

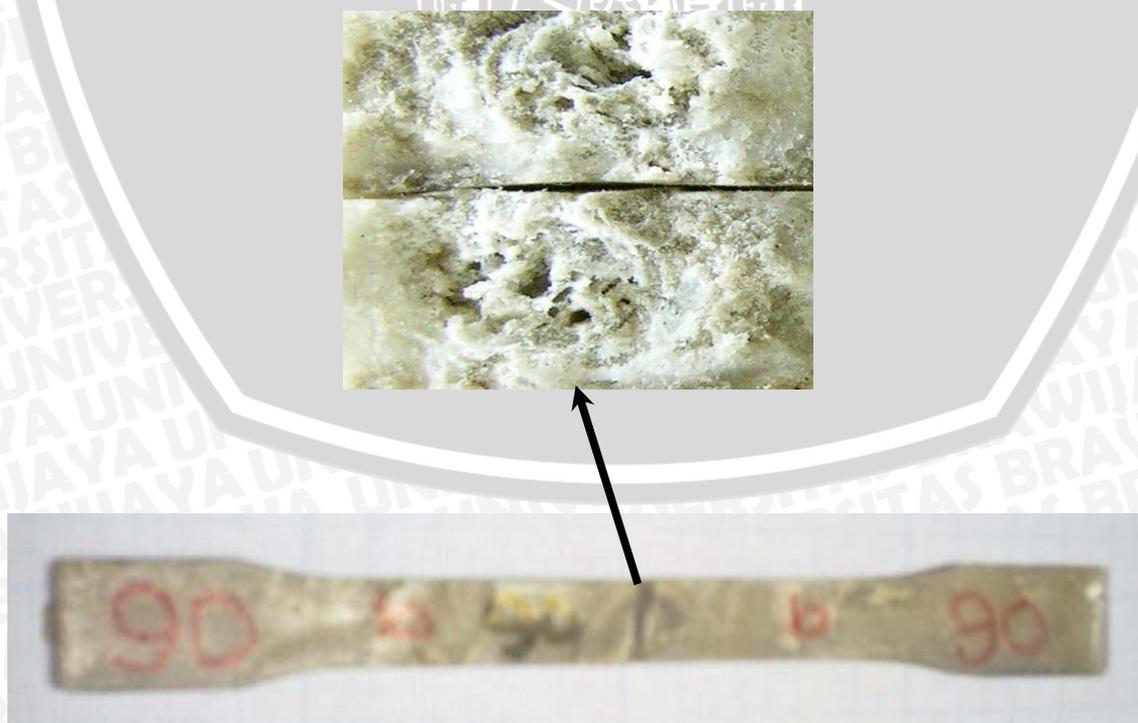
Mengenai pengaruh ukuran butir yang lebih kecil pada sifat mekanik, Callister (1985:394) mengemukakan “ ukuran butir yang lebih kecil akan meningkatkan penguatan pada komposit karena butir yang lebih kecil akan membentuk adhesivitas ikatan mekanik yang lebih kuat antara matrik dan *filler*.” Jadi semakin kuat ikatan mekanik antara matrik dan *filler* maka kekuatan impaknya juga akan semakin tinggi.

4.4 Foto Spesimen Komposit Polipropilen-Soda Lime Glass

4.4.1 Foto Spesimen Uji Kekuatan Tarik Komposit Polipropilen-Soda Lime Glass



Gambar 4.4 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 45µm



Gambar 4.5 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 90µm



Gambar 4.6 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 160µm



Gambar 4.7 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 250µm



Gambar 4.8 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Tarik Ukuran Butir 315 μ m

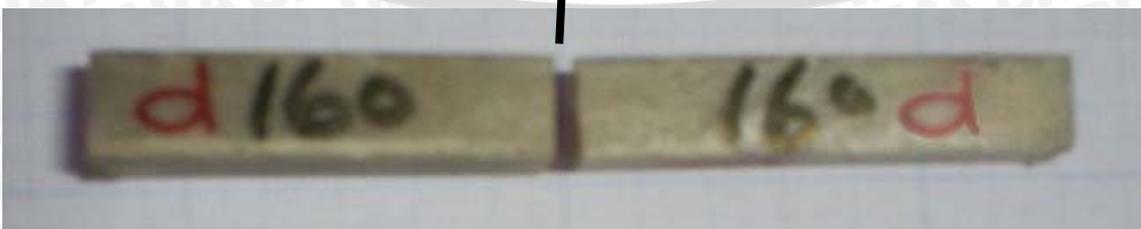
4.4.2 Foto Spesimen Uji Kekuatan Impak Komposit Polipropilen-Soda Lime Glass



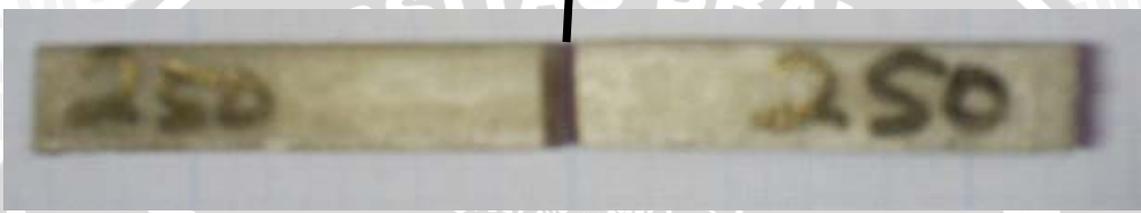
Gambar 4.9 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 45 μ m



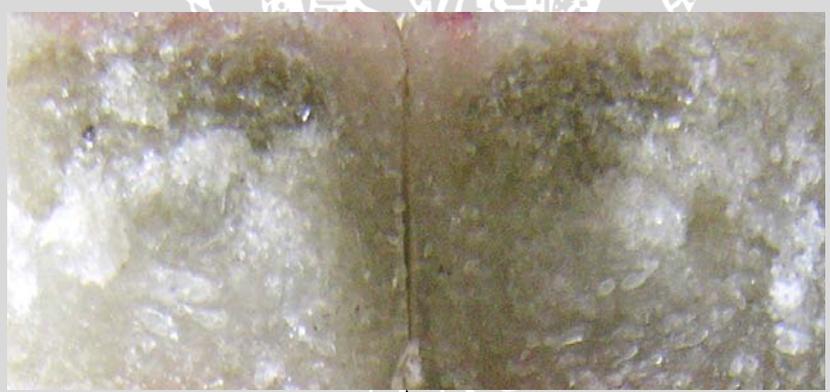
Gambar 4.10 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 90µm



Gambar 4.11 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 160µm



Gambar 4.12 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 250µm



Gambar 4.13 Patahan Spesimen Uji Kekuatan Impak Ukuran Butir 315µm

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah, ukuran butir *filler* serbuk kaca *soda lime glass* berpengaruh pada kekuatan impak maupun kekuatan tarik komposit serbuk kaca-polipropilen. Untuk kekuatan tarik, semakin kecil ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* maka Kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan. Untuk kekuatan impak komposit serbuk kaca *soda lime glass* menunjukkan hal yang sama dimana ukuran butir berbanding terbalik dengan kekuatan impak. Jadi semakin kecil ukuran butir serbuk kaca *soda lime glass* maka kekuatan impak dari komposit polipropilen-*soda lime glass* mengalami peningkatan. Untuk kekuatan tarik ataupun kekuatan impak optimal dapat dicari berdasarkan rumus :

$$\frac{dT_{(impak)} / d(\mu m)}{dT_{(tarik)} / d(\mu m)} = 1$$

Kekuatan tarik maupun kekuatan impak akan optimal jika ukuran butir mendekati 0 μ m. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil perhitungan kekuatan tarik optimal sebesar 31,2315 N.mm⁻² dan kekuatan impak optimalnya sebesar 0.0366 J/mm².

5.2 Saran

1. Sebaiknya rentang variasi ukuran butir lebih besar.
2. Penelitian lebih lanjut, sebaiknya selain memvariasikan ukuran butir juga memvariasikan temperatur, tekanan sehingga nantinya diperoleh variabel yang menghasilkan kekuatan tarik dan kekuatan impak yang maksimum.
3. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan reaktan pengikat polimer termoplastik sehingga dapat meningkatkan kekuatannya.
4. Pemakaian *filler* lain perlu diperhatikan lagi, agar didapatkan suatu komposit baru yang lebih berkualitas, hemat, dan berguna.