

**PENGARUH UKURAN BUTIR Al_2O_3 DAN TEMPERATUR
INJEKSI TERHADAP KEKUATAN TEKAN KOMPOSIT
POLIPROPILEN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

DIDIK HARIYANTO
NIM. 0210620037-62

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya skripsi dengan judul **“Pengaruh Ukuran Butir Al₂O₃ dan Temperatur Injeksi Terhadap Kekuatan Tekan Komposit Polipropilen”** dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada :

1. Bapak DR. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, Mse.Cse. selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT.. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi..
4. Bapak Ir. Bardji Hadi Pranoto sebagai Dosen Pembimbing I dan Dosen Wali yang telah banyak mengorbankan waktu dan tenaganya hingga terselesaikan skripsi ini.
5. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST.,MT. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah banyak mencurahkan perhatian, memberikan dorongan, sumbangan pemikiran, petunjuk dan saran-saran selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
6. Kedua orang tuaku yang telah memberikan dukungan sepenuhnya berupa doa dan materi yang tidak pernah terhitung.
7. Mbak Eni, mas Herman, dek Yulis dan si Vanny yang telah memberikan semangat untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Bulikku yang telah memberikan bantuan materi untuk kelangsungan kuliahku hingga terselesainya skripsi ini.
9. Seluruh keluargaku yang tidak dapat kusebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat dalam kuliahku.
10. Rekan-rekan di Jurusan Mesin terutama angkatan 2002.

11. Seluruh teman-teman serta sahabat-sahabatku yang tidak dapat kusebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu baik fasilitas maupun memberi semangat serta nasihat.
12. Semua orang yang pernah kusayangi dan pernah ada dalam hatiku yang telah memberikan pelajaran tentang manis, asam, asin, dan pahitnya kehidupan ini, dan telah memberikan semangat dalam kuliahku.

Semoga semua yang telah diberikan kepada penulis akan bermanfaat dan menjadi ilmu terutama bagi penulis sendiri dan bagi orang lain yang membacanya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu penulis dengan segenap kerendahan hati membuka diri dan mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak, agar dapat digunakan untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang terdapat di dalam penulisan skripsi ini.



Malang, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
ABSTRAKSI	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Pengertian Komposit	5
2.3 Klasifikasi Komposit	5
2.3.1 Komposit Serat (<i>Fiber Composite</i>)	5
2.3.2 Komposit Partikel (<i>Particulate Composite</i>)	6
2.3.3 Komposit Berlapis (<i>Laminate Composite</i>)	7
2.4 Teori Ikatan Matriks dan Penguat	8
2.5 Matriks	9
2.6 Polimer	9
2.6.1 Termoset	10
2.6.2 Termoplastik	12
2.7 Penguat (<i>Reinforcement</i>)	14
2.7.1 Al ₂ O ₃ Sebagai Penguat	14
2.8 Metode Pembuatan Komposit	15
2.8.1 <i>Injection Moulding</i>	15
2.8.2 Temperatur	17
2.9 Kekuatan Tekan	17

2.10	Hipotesis	18
III. METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Metode Penelitian	19
3.2	Variabel Penelitian	19
3.2.1	Variabel Bebas	19
3.2.2	Variabel Terikat	19
3.2.3	Variabel Terkendali	19
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.4	Alat dan Bahan yang Digunakan	20
3.4.1	Alat yang Digunakan	20
3.4.2	Bahan yang Digunakan	21
3.5	Prosedur Penelitian	21
3.5.1	Pembuatan Spesimen Komposit	21
3.5.2	Dimensi Spesimen	21
3.5.3	Pengujian Kekuatan Tekan Komposit	22
3.6	Rancangan Penelitian	22
3.7	Analisis Kecukupan Data	23
3.8	Analisis Statistik	25
3.8.1	Formula Hipotesis	25
3.8.2	Analisis Varian Dua Arah	25
3.9	Diagram Alir Penelitian	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Data Hasil Pengujian	29
4.2	Analisis Kecukupan Data	29
4.3	Analisis Varian Dua Arah	29
4.4	Pembahasan Grafik	35
4.4.1	Analisis Pengaruh Ukuran Butir Al_2O_3 Terhadap Kekuatan Tekan Komposit	36
4.4.2	Analisis Pengaruh Temperatur Injeksi Terhadap Kekuatan Tekan Komposit	37

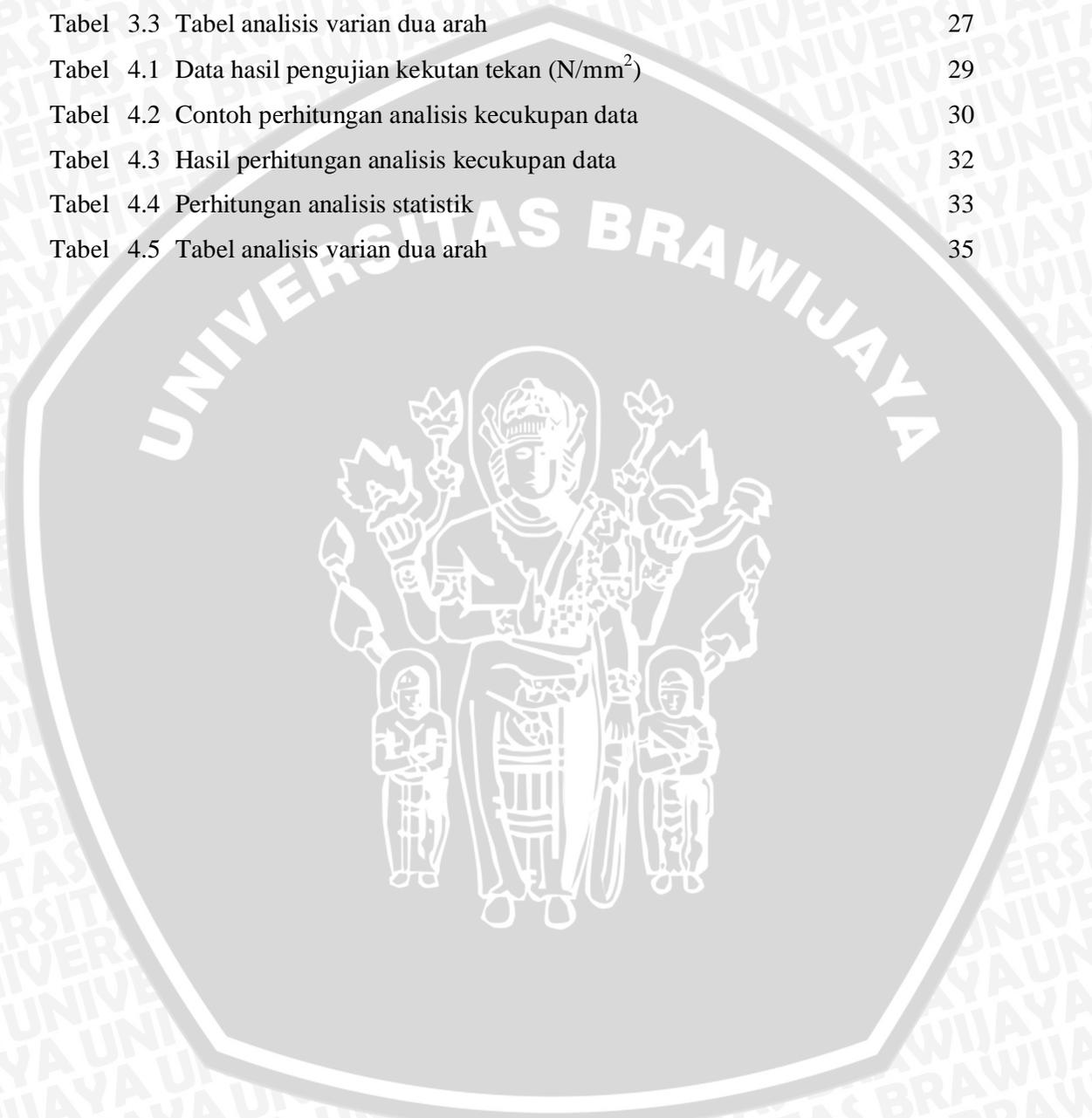
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	halaman
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian Hasil Uji Tekan	23
Tabel 3.2	Koefisien tingkat keyakinan	24
Tabel 3.3	Tabel analisis varian dua arah	27
Tabel 4.1	Data hasil pengujian kekuatan tekan (N/mm ²)	29
Tabel 4.2	Contoh perhitungan analisis kecukupan data	30
Tabel 4.3	Hasil perhitungan analisis kecukupan data	32
Tabel 4.4	Perhitungan analisis statistik	33
Tabel 4.5	Tabel analisis varian dua arah	35



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	halaman
Gambar 2.1	Skema penyusunan serat (a) <i>Continuous fibres, unidirectional</i> , (b) <i>Discontinuous fibres, unidirectional</i> , dan (c) <i>Discontinuous fibres, random</i>	6
Gambar 2.2	Skema penyusunan <i>Particulate Composite</i>	7
Gambar 2.3	<i>Laminate Composite</i>	7
Gambar 2.4	<i>Mechanical Bonding</i>	8
Gambar 2.5	<i>Electrostatic Bonding</i>	8
Gambar 2.6	<i>Reaction Bonding</i>	9
Gambar 2.7	Simbol polipropilen	13
Gambar 2.8	<i>Short Segment</i> polipropilen	13
Gambar 2.9	Bagian-bagian mesin <i>Injection Moulding</i>	16
Gambar 2.10	skema pengujian tekan	18
Gambar 3.1	Spesimen Pengujian Kekuatan Tekan	22
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Grafik pengaruh ukuran butir Al_2O_3 terhadap kekuatan tekan komposit	36
Gambar 4.2	Grafik pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit	38

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto spesimen hasil uji tekan
Lampiran 2.	Alat yang digunakan
Lampiran 3.	Bahan yang Digunakan
Lampiran 4.	Tabel uji F untuk $\alpha = 5\%$



ABSTRAKSI

DIDIK HARIYANTO, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh Ukuran Butir Al₂O₃ dan Temperatur Injeksi Terhadap Kekuatan Tekan Komposit Polipropilen*, Dosen Pembimbing : Ir. Bardji Hadi Pranoto dan Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

Komposit banyak diminati untuk dikembangkan karena penggunaannya yang sangat luas dan memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan material lainnya. Salah satu jenis komposit yang banyak digunakan adalah *Polymer Matrix Composite*. Polimer ada bermacam-macam jenis dan salah satu yang banyak digunakan adalah polipropilen. Peran penguat dalam komposit sangat penting untuk memperbaiki sifat mekanik dari matriks. Penggunaan Al₂O₃ sebagai penguat komposit matriks polipropilen dikarenakan sifatnya yang keras dan kaku serta memiliki kekuatan tekan yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi dari variasi ukuran butir Al₂O₃ dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen. Kekuatan tekan komposit diuji dengan menggunakan mesin uji tekan. Data hasil pengujian kekuatan tekan diolah dengan bantuan *microsoft office excel* dan selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam menganalisis. Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variasi ukuran butir Al₂O₃ dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen digunakan analisis varian dua arah.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa ukuran butir Al₂O₃ dan temperatur injeksi berpengaruh terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen. Semakin besar ukuran butir Al₂O₃ kekuatan tekannya semakin meningkat dan mencapai maksimal pada ukuran butir 100 µm, penambahan ukuran butir setelah itu akan menurunkan kekuatan tekan komposit polipropilen. Kekuatan tekan komposit juga meningkat seiring meningkatnya temperatur penginjeksian dan mencapai nilai maksimal pada temperatur 220 °C. Peningkatan temperatur setelah itu akan menurunkan kekuatan tekan komposit. Kekuatan tekan komposit tertinggi mencapai 39,28561 N/mm² dan terendah 26,97685 N/mm². Sedangkan interaksi antara ukuran butir Al₂O₃ dan temperatur injeksi tidak berpengaruh terhadap kekuatan tekan komposit.

Kata kunci : ukuran butir, Al₂O₃, temperatur injeksi, kekuatan tekan, komposit, polimer, polipropilen.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit merupakan salah satu jenis material yang sekarang ini banyak diminati untuk dikembangkan lebih lanjut karena penggunaan dari komposit yang sangat luas dan memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan material lainnya. Beberapa keunggulan komposit antara lain bobotnya yang relatif ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik, hasil akhir (permukaan) yang baik, biaya produksi lebih murah, dan tahan terhadap korosi (Schwartz, 1996).

Komposit merupakan kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya, serta tidak saling melarutkan antara material-material tersebut (Gibson, 1994). Pada komposit, material yang satu berfungsi sebagai penguat sedangkan material yang lainnya berfungsi sebagai matriks atau pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Matriks pada komposit bisa berupa polimer, keramik, maupun logam. Polimer memiliki berbagai macam jenis dengan sifat yang berbeda. Polipropilen merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang banyak dipakai dalam produksi peralatan meja makan, keranjang, peralatan kamar mandi, keperluan rumah tangga, mainan, peralatan listrik, komponen mobil, dan lain sebagainya. Penggunaannya yang luas ini dikarenakan mampu cetaknya yang baik, permukaannya yang licin, mengkilat, dan tembus cahaya (Tata Surdia, 1999). Data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2007 memperlihatkan bahwa volume perdagangan plastik dan barang dari plastik impor Indonesia bulan Januari 2006 mencapai US\$ 128,0 juta dan pada bulan Januari 2007 mencapai US\$ 174,3 juta, sehingga dalam kurun waktu tersebut terjadi peningkatan sebesar 36,17 %, bahkan pada bulan Maret 2007 terjadi peningkatan lagi hingga US\$ 175,2 juta. Hal ini menunjukkan bahwa banyak sekali potensi maupun keuntungan-keuntungan yang dimiliki oleh material plastik ini.

Dalam proses pembuatan komposit, peran penguat sangat berpengaruh dalam memperbaiki mutu produk. Penguat dapat berupa serat maupun partikel. Kualitas produk pada komposit dengan penguat partikel sangat dipengaruhi oleh jenis partikel yang dipakai, ukuran partikel dan fraksi volume. Penyebaran partikel mengakibatkan pengerasan pada matriks karena gerakan dislokasi dalam matriks terhalang oleh partikel tersebut sehingga matriks menjadi lebih kuat (Budinski, 1996).

Aluminium oksida adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan nama mineral alumina dan rumus kimia Al_2O_3 . adalah isolator panas dan listrik yang baik dan banyak dipakai sebagai bahan abrasif maupun sebagai komponen dalam alat pemotong karena sifat kekerasannya. Al_2O_3 memiliki kekuatan tekan yang tinggi hingga mencapai 2100 MPa (www.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oksida).

Dalam penelitian sebelumnya pernah digunakan polipropilen sebagai matriks dan Al_2O_3 sebagai penguat. Penelitian ini menggunakan variasi fraksi volume antara penguat dan matriks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar volume penguat yang ditambahkan ke dalam matriks akan meningkatkan kekuatan tarik komposit tersebut. (Jung, Chan-Hee *et. al.*, 2006).

Sifat khas bahan polimer yang sangat berubah menurut temperatur juga dapat berpengaruh terhadap sifat-sifat komposit polimer. Temperatur injeksi yang tinggi akan menghasilkan permukaan yang baik dan dapat mengurangi porositas. Akan tetapi, dengan temperatur yang tinggi sangat mungkin terjadi penyalaan dan tenggelamnya *filler* dalam matriks. Jika temperatur terlalu rendah, komposit polimer dapat membeku sebelum sempat memenuhi seluruh ruang dalam cetakan. Sehingga untuk mengetahui temperatur injeksi yang tepat perlu adanya penelitian (Crawford, 1989: 193).

Beban tekan sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh penggunaan polimer yang mengalami beban tekan adalah kursi yang terbuat dari plastik. Beban tekan yang diberikan pada kursi tersebut akan bervariasi tergantung pada apa dan siapa yang berada di atasnya, sehingga sering kita jumpai kursi tersebut retak bahkan sampai patah. Kekuatan tekan polimer jauh lebih rendah dari logam, namun sifat-sifat yang diinginkan dari bahan polimer dapat diperbaiki dengan menambahkan penguat pada resin. Macam dan bentuk penguat sangat berpengaruh pada hasil akhir komposit polimer (Budinski, 1996).

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur penginjeksian terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dari latar belakang diatas adalah bagaimana pengaruh yang terjadi dari variasi ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Proses yang digunakan adalah proses *Injection Moulding*.
2. Campuran yang digunakan adalah polipropilen dan serbuk Al_2O_3 .
3. Fraksi volume yang digunakan adalah 90 % polipropilen dan 10 % Al_2O_3 .
4. Dimensi spesimen ditentukan menurut standart ASTM D695-80.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi dari variasi ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan material baru yang memiliki sifat mekanik yang baik..
2. Dapat menunjang perkembangan IPTEK khususnya dalam bidang teknik material.
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk dijadikan sebagai pembanding dan dasar pendekatan bagi penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Bose, Suryasarathi *et. al.* (2004) yang dalam penelitiannya menggunakan *filler* partikel mika dengan variasi ukuran butir sebesar 35 μm dan 75 μm dan fraksi volume dari 5% sampai 40% yang ditambahkan ke dalam komposit *Nylon-6*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya persentase penambahan partikel mika, terjadi peningkatan pada sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik pada komposit. Sifat mekanik optimal didapatkan pada fraksi volume 10%, penambahan *filler* yang semakin besar akan mengakibatkan penurunan pada kekuatan impaknya. Selain itu, dalam penelitian ini juga dapat diketahui bahwa sifat mekanik, sifat termal, dan sifat elektrik komposit lebih tinggi pada ukuran butir mika yang lebih kecil.

Chanh, Navin *et. al.* (2000) yang meneliti tentang penambahan *flyash* sebagai *filler* pada matriks polipropilen yang dicampur dengan polimetil metakrilat terhadap kekuatan tarik dan stabilitas termalnya. Temperatur yang digunakan pada saat penginjeksian sebesar 200 $^{\circ}\text{C}$. Hasil penelitiannya menunjukkan penurunan pada kekuatan tarik seiring meningkatnya persentase penambahan *flyash* ke dalam matriks. Sebaliknya, stabilitas termalnya meningkat seiring meningkatnya persentase penambahan *flyash* karena adanya mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*) yang semakin banyak yang dapat mengisi tiap lekuk pada butiran *flyash*.

Cahyono, Edi (2005) yang meneliti tentang pengaruh temperatur pelelehan dan fraksi volume *carbon black* terhadap tegangan tarik komposit polietilen. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa temperatur pelelehan sangat berpengaruh terhadap tegangan tarik komposit polietilen dengan menggunakan *injection moulding*. Tegangan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pelelehan. Tegangan tarik terendah komposit polietilen sebesar 1,718 kg/mm^2 pada temperatur pelelehan 180 $^{\circ}\text{C}$ dan maksimal pada 210 $^{\circ}\text{C}$ sebesar 2,416 kg/mm^2 .

Sulaiman, Meru Reza (2007) yang meneliti tentang pengaruh fraksi volume komposit *hybrid* polietilen yang diperkuat serbuk sekam padi dan serbuk *carbon black* terhadap kekuatan tekan komposit. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan komposit tunggal dan komposit *hybrid* meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume *filler* yang ditambahkan. Kekuatan tekan tertinggi yang diperoleh sebesar 24,945 N/mm^2 .

2.2 Pengertian Komposit

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya, serta tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Gibson, 1994). Pengikat atau matriks pada komposit dapat berupa polimer, keramik, maupun logam. Sedangkan penguat (*filler*) dapat berasal dari bahan organik maupun anorganik.

Keuntungan dari penggunaan komposit antara lain (Schwartz, 1996):

1. Bobotnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik.
2. Hasil akhir yang baik.
3. Biaya produksi lebih murah.
4. Umur pemakaian lama.
5. Tahan terhadap korosi.

Kekurangan dari material komposit antara lain:

1. Komposit tertentu peka terhadap perubahan temperatur yang drastis.
2. beberapa bahan penyusun komposit mudah terbakar.
3. Perbaikan bila terjadi kerusakan lebih sulit.

2.3 Klasifikasi Komposit

2.3.1 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat terdiri dari matriks dan serat. Matriks berfungsi sebagai perekat atau pemegang serat, melindungi serat dari kerusakan eksternal, dan sebagai pendistribusi beban yang dikenakan pada komposit ke serat. Sedangkan serat berfungsi sebagai penguat dari matriks.

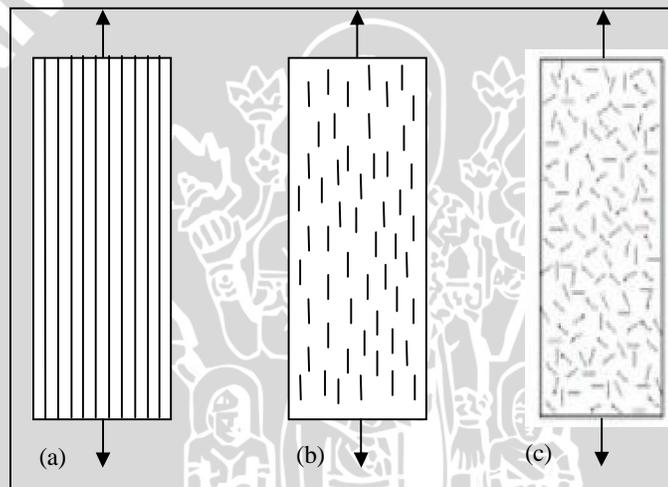
Serat dahulu hanya dibuat dari bahan alami, seperti jute, sisal, rami, kapas, dan lain sebagainya, namun kini dapat dibuat dari berbagai bahan, yaitu: mineral, sintetik (polimer/keramik) atau logam. Menurut ASTM, serat setidaknya mempunyai panjang 100 kali diameternya. Serat alamiah biasanya berupa stapel, sedangkan yang sintetik dapat berupa filamen maupun stapel.

Whisker atau "serabut halus-pendek" adalah kristal tunggal buatan yang berdiameter sekitar satu mikron. Karena cacat kristal pada arah beban sangat sedikit, maka kekuatannya sangat besar hingga mencapai 1×10^6 psi ($6,9 \times 10^3$ MN/m²) atau bahkan lebih. *Whisker* bahan keramik, semisal Al₂O₃ dan silikon karbida/nitrida banyak dimanfaatkan sebagai pemerkuat bahan komposit karena kekuatannya yang tinggi.

Sedangkan serat kontinyu mempunyai panjang takhingga, terentang sepanjang matriks. Serat diskontinyu mempunyai panjang kurang dari 30 cm, cenderung terarah sesuai aliran resin saat dicetak.

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

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

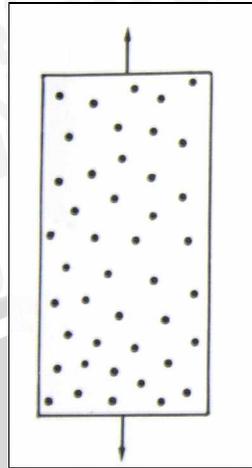


Gambar 2.1 Skema penyusunan serat (a) *Continuous fibres, unidirectional*, (b) *Discontinuous fibres, unidirectional*, dan (c) *Discontinuous fibres, random*

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

2.3.2 Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit jenis ini menggunakan partikel/butiran sebagai penguat. Penguat yang biasa digunakan antara lain keramik dan gelas sebagai partikel mineral, aluminium sebagai partikel logam, polimer dan *carbon black* sebagai *armophous* partikel. Partikel yang digunakan pada material komposit bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus/gesek, kekerasan bahan, atau untuk mengurangi biaya produksi. Skema penyusunan partikel pada komposit partikel seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut ini.



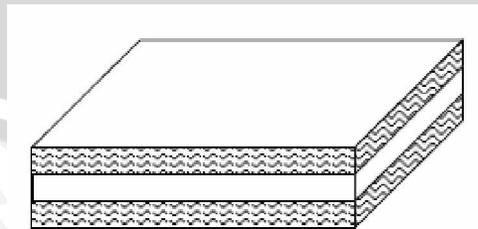
Gambar 2.2 Skema penyusunan *Particulate Composite*
Sumber : Matthews and Rawling, 1994 : 8

2.3.3 Komposit Berlapis (*Laminate Composite*)

Komposit ini terdiri dari sekurang-kurangnya dua bahan berbeda yang direkatkan bersama-sama seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. 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 *laminate*. 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*



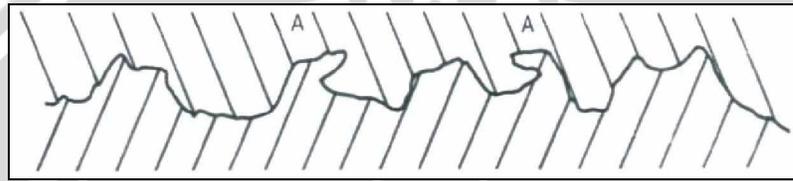
Gambar 2.3 *Laminate Composite*
Sumber : Antonia Yulian Taurista *et.al*

2.4 Teori Ikatan Matriks dan Penguat

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

a. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

Matriks 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 2.4 dan semakin kasar permukaan penguat maka semakin kuat ikatan yang terbentuk.

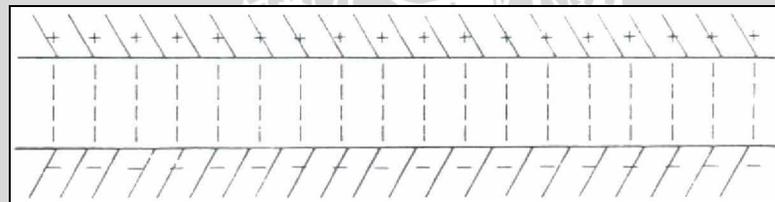


Gambar 2.4 *Mechanical Bonding*

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 62

b. Ikatan elektrostatik (*Electrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 terjadi antara matriks dan penguat ketika salah satu permukaan mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.

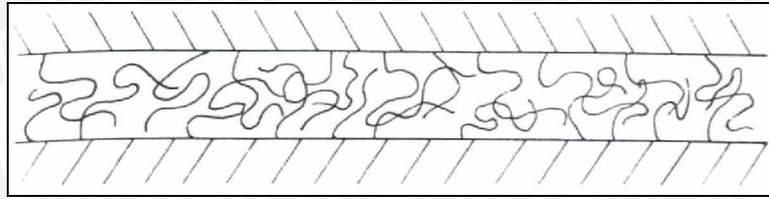


Gambar 2.5 *Electrostatic Bonding*

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 seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6. 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 2.6 *Reaction Bonding*

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 63

2.5 Matriks

Matriks merupakan unsur pada komposit yang berfungsi sebagai perekat yang menyatukan dan melindungi *filler*. Matriks komposit secara umum ada tiga yaitu polimer, logam dan keramik.

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

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 massa jenis, 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 massa jenis yang rendah. Sekarang ini banyak komposit yang menggunakan matriks polimer, yang lebih dikenal dengan *Polymer Matrix Composites* karena dapat diaplikasikan secara luas dan lebih mudah diproduksi dalam jumlah besar.

2.6 Polimer

Polimer adalah molekul raksasa (makromolekul) yang tersusun dari satuan-satuan kimia sederhana yang disebut monomer, seperti etilena, propilena, isobutilena, dan butadiena (merupakan produk samping pembuatan bensin serta pelumas) (Smith, 2004). Tata Surdia (1999) 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 tersusun dari awalan poli yang berarti

banyak dan diikuti dengan nama monomernya, misalnya poliester yang tersusun dari monomer ester. Karena rantainya yang sangat panjang, maka dinamakan poliester.

Saat ini polimer digunakan secara luas (epoksi, poliester, dan lain-lain), karena sifatnya yang lebih ringan dan tidak korosif dibandingkan dengan logam serta harga yang lebih murah jika dibandingkan dengan keramik. Polimer terdiri dari banyak monomer yang saling mengikat dalam ikatan kimia (kovalen) membentuk suatu padatan. Dalam *Engineering Material*, polimer dibedakan menjadi dua golongan yaitu plastik dan elastomer.

Penggunaan plastik menawarkan beberapa keuntungan, yaitu mengurangi bagian dari proses *mechanical engineering design* (misalnya mengurangi beberapa proses *finishing operation*), memudahkan perakitan, mengurangi berat, dan sebagai peredam getaran.

Secara umum terdapat dua macam plastik, yaitu termoset dan termoplastik.

2.6.1 Termoset

Termoset adalah salah satu jenis plastik yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat. Matriks jenis ini memiliki rantai-rantai molekul yang saling berhubungan sehingga walaupun mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif. Matriks akan mencair dan kemudian mengeras bersamaan dengan terbentuknya suatu jaringan ikatan rantai monomer sehingga akan bersifat stabil.

Beberapa kelebihan dari termoset sebagai matriks (Schwartz, 1996) antara lain :

- Dapat mengikat serat dengan resin secara mudah dan baik.
- Memiliki viskositas yang rendah.
- Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat.
- Ringan.
- Tahan korosi.

a. Poliester

Menurut Tata Surdia (1999) 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 terhadap cuaca, kimia, kelembaban dan sinar U.V yang baik. Resin poliester ini dapat diproses dalam beberapa metode, namun pada umumnya di proses dengan metode *open handy lay-up* dan metode *spray-up* khususnya untuk volume material yang kecil. *Curing time* resin ini dapat terjadi pada temperatur ruang tanpa atau dipengaruhi tekanan (Tata Surdia, 1999).

b. 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-gas pengotor), stabilitas ukuran yang baik, ketahanan termal yang tinggi, dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu.

c. Fenol

Fenol adalah jenis resin 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. Material ini banyak digunakan sebagai *telephone relay system*, pada otomotif digunakan sebagai *component brake*.

d. Poliuretan

Poliuretan memiliki kekuatan yang tinggi, tahan terhadap abrasi, minyak dan pelarut. Biasa digunakan untuk plastik busa, bahan elastis, cat, perekat, serat elastis, kulit sintetik, dan sebagainya.

e. Melamin

Resin jenis ini memiliki ketahanan air yang baik, khususnya terhadap air mendidih. Sifat-sifat yang lain dari resin melamin adalah ketahanan panas dan sebagai isolator yang baik serta tahan terhadap bahan kimia. Banyak digunakan untuk peralatan makan, komponen listrik dan mekanik.

f. Urea Formaldehid

Resin ini didapat dengan mereaksikan antara urea dengan formalin. Resin jenis ini memiliki sifat yang lebih buruk daripada resin termoset yang lainnya, sehingga perlu ditambahkan bahan lain kedalamnya. Banyak digunakan untuk barang-barang yang kecil seperti pelindung cahaya, soket, alat-alat listrik, kancing, tutup wadah, kotak, baki dan mangkuk.

2.6.2 Termoplastik

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

Resin termoplastik memiliki massa jenis antara 1,06 sampai 1,42 kg/cm³. Sifat-sifat dari resin termoplastik antara lain sebagai isolator yang baik, mempunyai ketahanan sampai temperatur 260 °C, mudah dibentuk, dan ketahan terhadap korosi yang sangat baik.

a. Polietilen

Polietilen memiliki berat molekul yang tinggi diantara resin termoplastik. Sifat-sifat kimia polietilen cukup stabil, tahan terhadap bahan kimia kecuali kalida dan oksida kuat. Sifat kelistrikannya baik, banyak dipakai sebagai bahan isolasi untuk radar, TV, dan berbagai alat komunikasi, alat dapur, botol, tempat minyak tanah, pipa, isolator kabel, tempat sampah, dan sebagainya.

b. Polivinil Klorida

Resin jenis ini baik dalam ketahanan air, ketahanan asam dan ketahanan alkali, tidak bersifat racun dan tidak menyala, isolasinya baik dan tahan terhadap banyak larutan. Banyak digunakan dalam pertanian, lapisan kabel listrik, mainan, sarung tangan tahan air, dan pipa.

c. Klorida Poliviniliden

Bahan ini tahan terhadap zat kimia serta permeabilitasnya yang baik. Biasa digunakan untuk cat, bahan tahan air, tahan lembab, dan bahan pemoles, juga dipakai untuk pelapisan wadah yang terbuat dari logam dan kertas.

d. Polivinil Asetat

Kekuatan mekanik, ketahanan panas dan ketahanan kimia resin ini rendah. Dipakai sebagai perekat dan sebagai bahan dasar permen karet.

e. Polistiren

Resin jenis ini pengerjaannya mudah, biayanya murah, sedikit menyerap air tetapi strukturnya rapuh serta memiliki ketahanan panas dan kimia yang rendah.

f. Polimetil Metakrilat

Sifat yang menonjol adalah sifat tembus cahayanya yang sangat baik, terutama untuk daerah sinar tampak. Ketahanan impact dan ketahanan cuacanya baik.

Karakteristik polipropilen (www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene):

1. Nama kimia : Poli(1-metiletilen)
2. Nama lain : Polipropilen; Polipropana; Polipropana 25 [USAN];
Propana polimer; Propilen polimer
3. Rumus kimia : $(C_3H_6)_x$
4. Monomer : Propilen
5. Massa jenis : $0,928 \text{ g/cm}^3$
6. Kekuatan tarik : 29 – 38 MPa
7. Modulus elastisitas : 1,1 – 1,4 GPa
8. Kekuatan tekan : 41,2 – 54,9 MPa
9. Titik leleh : $173 \text{ }^\circ\text{C}$

2.7 Penguat (*Reinforcement*)

Reinforcement atau disebut juga material pengisi (*filler*) merupakan komponen yang terpenting di dalam material komposit yang bertujuan untuk menambah sifat mekanik maupun elektrik dari sifat matriks yang digunakan ([www.wikipedia.org/wiki/Composite material](http://www.wikipedia.org/wiki/Composite_material)). Perpaduan antara matriks dan penguat akan menghasilkan sifat material yang tidak dimiliki masing-masing material ketika sebelum digabungkan. Bentuk material penguat dapat berupa partikel atau serat.

2.7.1 Al_2O_3 Sebagai Penguat

Al_2O_3 atau yang biasa disebut alumina, merupakan hasil kombinasi antara silika dan mineral yang lain. Alumina murni tidak berwarna, tetapi biasanya serbuknya berwarna putih, mempunyai titik lebur $2037 \text{ }^\circ\text{C}$, harga relatif murah, dan merupakan oksida dengan kekerasan dan kekakuan yang tinggi, serta tahan terhadap udara, air, dan sulfur dalam udara.

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-sifat material ini dapat berubah apabila dicampur dengan material lainnya.

Karakteristik Al_2O_3 (www accuratus.com/alumox.html):

1. Massa jenis : $3,72 \text{ g/cm}^3$
2. Warna : putih
3. Kekuatan lentur : 345 MPa
4. Modulus elastisitas : 300 GPa
5. Kekuatan tekan : 2100 MPa

2.8 Metode Pembuatan Komposit

Produk polimer berupa *pellets* yang kemudian dapat dikerjakan dengan proses bermacam-macam untuk memenuhi suatu produk yang diinginkan. Dalam proses pembuatan komposit, sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh komposisi dan sifat-sifat dari matriks dan penguat. Menurut Matthews and Rawlings (1994: 13), perhitungan komposit dilakukan dengan menggunakan fraksi volume sebagai berikut.

$$v_f + v_m = 1 \quad (2-1)$$

dengan:

v_f = fraksi volume *filler* (V_f/V_c)

v_m = fraksi volume matriks (V_m/V_c)

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 (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.

Penggunaan proses injeksi plastik didasarkan atas kelebihan-kelebihan sebagai berikut (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) antara lain.

1) Proses Injeksi

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

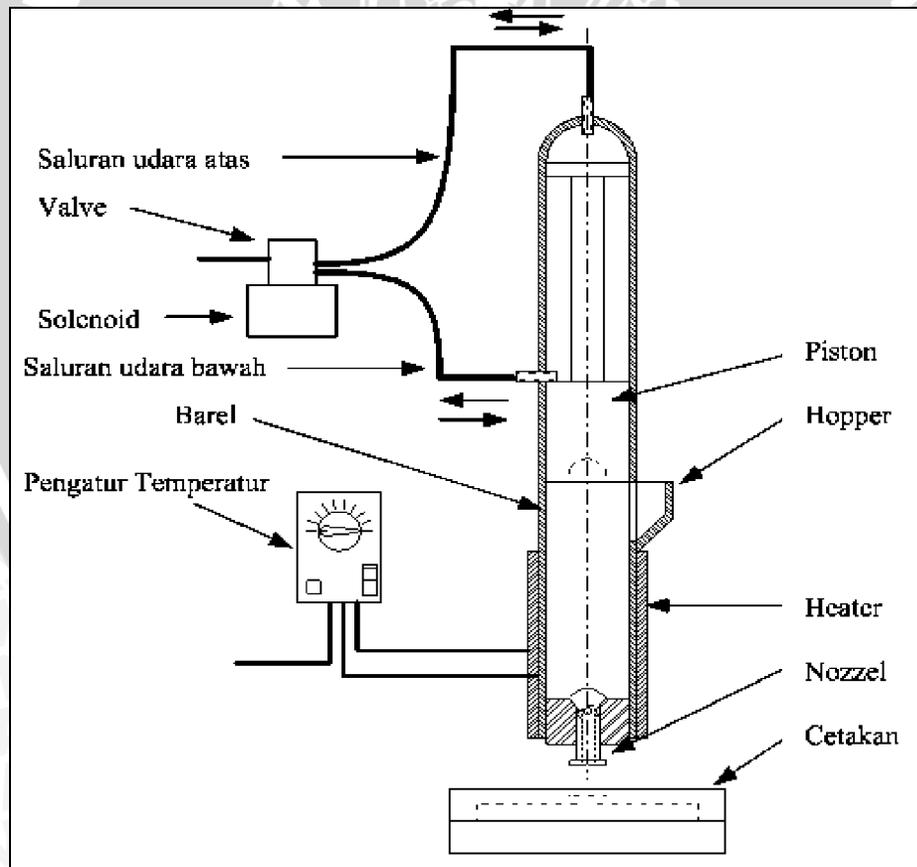
2) Proses Penahanan cetakan

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.

Skema dari mesin *injection moulding* adalah seperti pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Bagian-bagian mesin *Injection Moulding*

Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang

Dari gambar 2.9 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 kedalam cetakan.

2.8.2 Temperatur

Sifat khas bahan polimer sangat berubah menurut temperatur. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena panas akan mengubah kumpulan molekul atau mengubah struktur. Kemudian karena pengaruh panas, oksigen dan air bersama-sama memancing reaksi kimia pada molekul-molekul sehingga terjadi polimerisasi. Keadaan tersebut jelas akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik.

Proses pencetakan injeksi dilakukan pada saat bahan dalam keadaan cair. Temperatur pelelehan merupakan parameter yang menunjukkan derajat panas dari polimer yang meleleh yang sangat berkaitan dengan viskositas lelehan polimer dimana semakin tinggi temperatur pelelehan maka viskositas akan semakin rendah dan penyatuan polimer agar terbentuk produk yang diinginkan akan semakin mudah dikarenakan pergerakan molekul yang bebas. Temperatur yang seragam akan memberikan berbagai keuntungan diantaranya kualitas komposit yang bagus, penampilan yang menarik dan tegangan yang rendah (Joseph, 1991: 52).

2.9 Kekuatan Tekan

Pada dasarnya uji tekan (*compression test*) merupakan kebalikan dari uji tarik (*tension test*), dimana pembebanan dilakukan langsung terhadap spesimen seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.10. Kekuatan tekan didefinisikan sebagai distribusi gaya tekan persatuan luas bidang tekan bahan. Besarnya kekuatan tekan bahan dapat ditentukan dengan rumus:

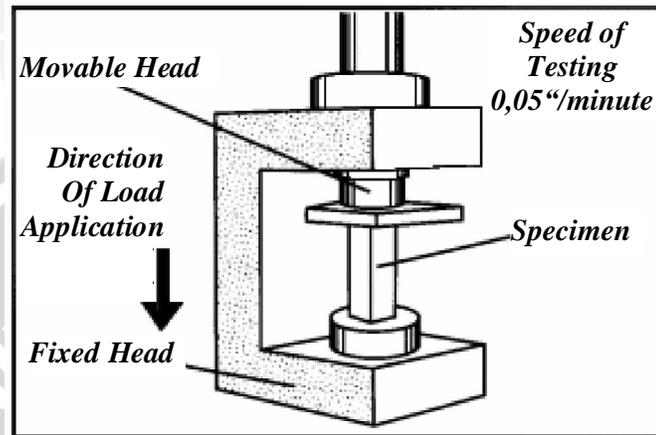
$$\sigma_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2-2)$$

Dengan:

σ_c = kekuatan tekan komposit (N/mm^2)

P_{maks} = gaya penekanan maksimum pada komposit (N)

A = luas bidang tekan komposit



Gambar 2.10 skema pengujian tekan

Sumber: www.asia.matweb.com/search/SearchSeq.asp

2.10 Hipotesis

Dari latar belakang dan dasar teori yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat diprediksikan bahwa semakin kecil ukuran butir Al_2O_3 dan semakin tingginya temperatur penginjeksian dapat meningkatkan kekuatan tekan komposit polipropilen dikarenakan semakin kecil ukuran butir maka luas kontak antara matriks dan *filler* semakin besar dan semakin tinggi temperatur injeksi adhesifitasnya semakin baik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebasnya yaitu:

- Variasi ukuran butir Al_2O_3 yang digunakan adalah 63 μm , 80 μm , 100 μm , dan 125 μm .
- Variasi temperatur injeksi yang digunakan adalah 200 $^{\circ}\text{C}$, 210 $^{\circ}\text{C}$, 220 $^{\circ}\text{C}$, dan 230 $^{\circ}\text{C}$.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan tekan komposit polipropilen.

3.2.3 Variabel Terkendali

- Tekanan pada proses injeksi sebesar 10 bar.
- Fraksi volume (%) antara serbuk Al_2O_3 dengan matriks polipropilen sebesar 10% Al_2O_3 dan 90% polipropilen.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

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

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

3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain.

a. Mesin *injection moulding*

Merek : TEFORMA
Maschinenbau GmbH D-6991 Igersheim
Tipe : RN 350
220 V, 50 Hz, 600 W

Tekanan Maksimum: 10 bar

b. Mesin pengujian tekan

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

Mesin ini memiliki tiga skala pengukuran beban, yaitu :

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

c. Timbangan digital

Merek : METTLER

d. Mesin ayak *rotab*

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

e. Cetakan spesimen

f. Jangka sorong

g. *Cutter*

h. Gergaji

i. Kertas gosok

3.4.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Polipropilen.
- b. Serbuk Al_2O_3 .

3.5 Prosedur Penelitian

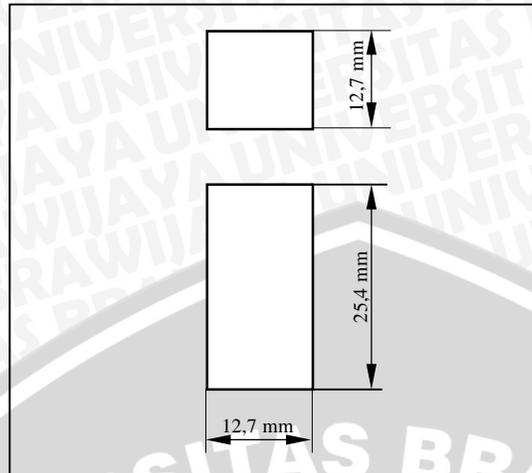
3.5.1 Pembuatan Spesimen Komposit

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 pengayakan serbuk Al_2O_3 untuk mendapatkan ukuran butir yang diinginkan, yaitu sebesar 63 μm , 80 μm , 100 μm , dan 125 μm .
- c. Selanjutnya dilakukan penimbangan serbuk Al_2O_3 dan polipropilen sesuai dengan perbandingan fraksi volume yang akan dibuat, yaitu 10% Al_2O_3 dan 90% polipropilen.
- d. Campuran serbuk Al_2O_3 dan polipropilen dimasukkan ke dalam mesin *injection moulding* untuk persiapan pemanasan, variasi temperatur mesin yaitu 200 °C, 210 °C, 220 °C, dan 230 °C dengan tekanan yang konstan sebesar 10 bar.
- e. Lelehan komposit yang keluar dari nosel mesin *injection moulding* disalurkan dan dicetak ke dalam cetakan menjadi spesimen uji sesuai dengan standar ASTM D695-80.
- f. Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan *finishing* untuk menghilangkan bekas saluran dan sirip agar sesuai dengan dimensi standart.
- g. Pengukuran dimensi spesimen.
- h. Spesimen diampelas untuk mendapatkan permukaan yang sevarian.

3.5.2 Dimensi Spesimen

Dimensi spesimen yang digunakan untuk pengujian tekan adalah seperti gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Spesimen Pengujian Kekuatan Tekan
Sumber : ASTM D695-80, *Compressive Properties of Plastics*

3.5.3 Pengujian Kekuatan Tekan Komposit

Langkah-langkah pengujian kekuatan tekan komposit pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mempersiapkan spesimen yang akan diuji.
- Set jarum penunjuk pada mesin uji tekan pada angka nol.
- Kemudian spesimen diletakkan pada dudukan spesimen pada mesin uji.
- Beban ditempelkan pada permukaan spesimen.
- Atur kecepatan pembebanan selama penekanan sebesar 0,2 mm/s.
- Pemberian beban pada spesimen.
- Membaca dan mencatat nilai gaya yang terjadi dimulai saat diberikan pembebanan hingga terjadi retak pada spesimen.
- Ulangi langkah yang sama untuk spesimen uji yang lain.

3.6 Rancangan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan, maka perlu dibuat model rancangan penelitian agar hasil yang diperoleh berguna untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Adapun rancangan penelitiannya adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian Hasil Uji Tekan

Temperatur Injeksi	Pengulangan	Ukuran Butir Al ₂ O ₃			
		63 μm	80 μm	100 μm	125 μm
200 °C	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
210 °C	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
220 °C	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
230 °C	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 ukuran butir Al₂O₃ ke-i dan variasi temperatur ke-j serta ulangan ke-k

3.7 Analisis Kecukupan Data

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

Untuk melakukan analisis 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 3.2 Koefisien tingkat keyakinan

Confidence level	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)

$$LCL = \bar{x} - k\sigma \tag{3-7}$$

- Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100} \tag{3-8}$$

- Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[\frac{k}{S} \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}} \right]^2 \tag{3-9}$$

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

3.8 Analisis Statistik

Untuk menganalisis hasil penelitian digunakan analisis varian dua arah dengan interaksi untuk menguji apakah keragaman hasil penelitian disebabkan oleh ukuran butir Al_2O_3 , variasi temperatur atau interaksi keduanya.

3.8.1 Formula hipotesis

1. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh ukuran butir Al_2O_3 .

Dirumuskan:

$H_{01} : \alpha_i = 0$, tidak ada pengaruh ukuran butir Al_2O_3 terhadap kekuatan tekan

$H_{11} : \alpha_i \neq 0$, ada pengaruh ukuran butir Al_2O_3 terhadap kekuatan tekan

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

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

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

3. Untuk menguji perbedaan mengenai rata-rata pengaruh interaksi antara ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi

$H_{03} : (\alpha\beta)_{ij} = 0$, tidak ada pengaruh interaksi antara ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan

$H_{13} : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$, ada pengaruh interaksi antara ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan

3.8.2 Analisis Varian Dua Arah

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

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3-10)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, r \quad ; \quad j = 1, 2, 3, \dots, c \quad ; \quad k = 1, 2, 3, \dots, k$$

dengan:

X_{ijk} = Nilai pengamatan ukuran butir ke- X_i , temperatur injeksi ke- K_j , dan ulangan ke-

X_k

μ = Nilai perlakuan overall

α_i = Pengaruh ukuran butir ke X_i

β_j = Pengaruh temperatur injeksi ke X_j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Pengaruh interaksi ukuran butir ke- X_i , temperatur injeksi ke- K_j , dan ulangan ke- X_k

ε_{ijk} = Galat percobaan pada ukuran butir ke- X_i , temperatur injeksi ke- K_j , dan ulangan ke- X_k

r = Banyaknya variasi ukuran butir

c = Banyaknya variasi temperatur injeksi

k = Banyaknya ulangan

Berdasarkan tabel dapat dihitung antara lain:

1. Faktor koreksi (FK)

$$\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t . X_{ijk} \right]^2 : rct \quad (3-11)$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c . X_{ij}^2}{t} - FK \quad (3-12)$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t . X_{ijk}^2 - FK \quad (3-13)$$

4. Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$\frac{\sum_{i=1}^r X_i^2}{ct} - FK \quad (3-14)$$

5. Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$\frac{\sum_{j=1}^c X_j^2}{rt} - FK \quad (3-15)$$

6. Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B

$$(JKAB) = JKP - JKA - JKB \quad (3-16)$$

7. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (3-17)$$



Tabel 3.3. Tabel analisa varian dua arah

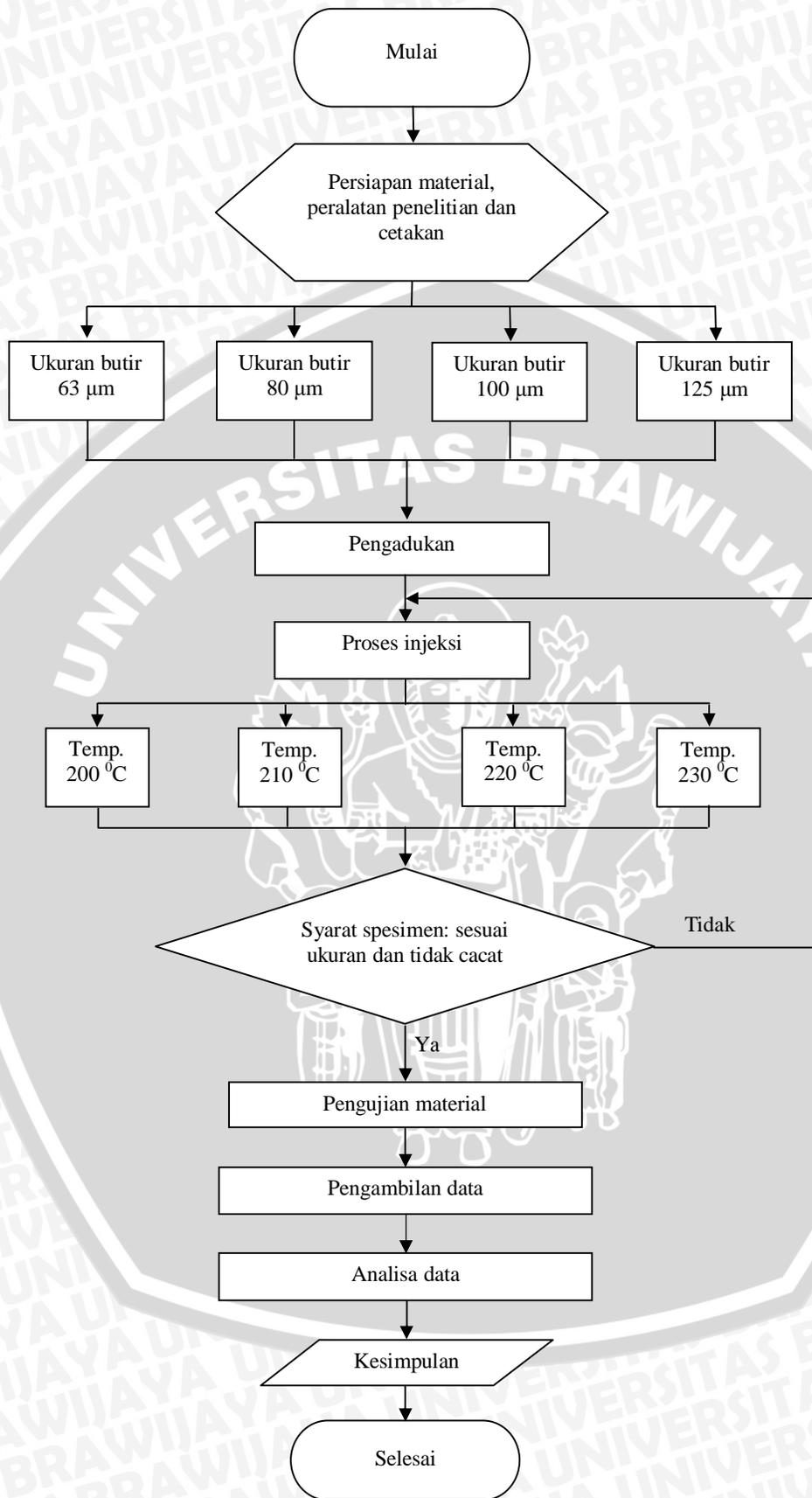
Sumber keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F _{hitung}
Faktor A	r-1	JKA	$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1}$	$\frac{S_A^2}{S^2}$
Faktor B	c-1	JKB	$S_B^2 = \frac{JKB}{c-1}$	$\frac{S_B^2}{S^2}$
Interaksi A dan B	(r-1)(c-1)	JKAB	$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$	$\frac{S_{AB}^2}{S^2}$
Galat	rc(t-1)	JKG	$S^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)}$	-
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 (ukuran butir) berpengaruh terhadap kekuatan tekan.
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 tekan.
3. Bila $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Berarti interaksi faktor A (ukuran butir) dan faktor B (temperatur injeksi) berpengaruh terhadap kekuatan tekan.

3.9 Diagram Alir Penelitian.

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



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Dalam pengujian ini menggunakan dua variasi yaitu ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi sehingga didapatkan data pengujian kekuatan tekan spesimen seperti terlihat pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian kekutan tekan (N/mm^2)

Temperatur Injeksi	Pengulangan	Ukuran Butir Al_2O_3			
		63 μm	80 μm	100 μm	125 μm
200 $^{\circ}\text{C}$	1	28,85001	33,18005	37,99532	29,42689
	2	26,97685	32,50148	32,79366	31,60862
	3	27,04318	29,62756	34,49775	32,76835
210 $^{\circ}\text{C}$	1	30,11201	33,09198	37,12444	34,00923
	2	29,41712	35,67478	34,13585	33,38008
	3	32,91387	36,78097	37,27265	36,99488
220 $^{\circ}\text{C}$	1	31,01878	38,11724	36,74043	36,29404
	2	38,97467	36,4994	37,21945	33,88672
	3	34,53029	33,88672	39,28561	34,08787
230 $^{\circ}\text{C}$	1	30,34944	38,01032	35,88006	33,88672
	2	30,63308	32,33492	34,12871	35,88077
	3	38,5878	38,28353	37,73748	33,26165

4.2 Analisis Kecukupan Data

Analisis kecukupan data digunakan untuk mengetahui apakah data yang di peroleh sudah cukup dan dapat dianalisis atau perlu adanya penambahan data baru. Berikut ini adalah contoh perhitungan analisis kecukupan data kekuatan tekan komposit pada ukuran butir 63 μm dan temperatur injeksi sebesar 200 $^{\circ}\text{C}$.

Tabel 4.2 Contoh perhitungan analisis kecukupan data

No.	x_i	x_i^2	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	28,85001	832,32308	1,22666	1,5047
2	26,97685	727,75044	-0,6465	0,41796
3	27,04318	731,33358	-0,5802	0,33659
Σ	82,87004	2291,4071	1,1E-14	2,25925

Dari tabel diatas dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai N' sebagai berikut:

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

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

$$= \frac{82,87004}{3} = 27,62334$$

- Variasi sampel (σ^2)

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

$$= \frac{2,25925}{3-1} = 1,12962$$

- Standart deviasi (σ)

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

$$= 1,06283$$

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

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

$$= \frac{1,06283}{27,62334} \times 100\% = 3,84761\%$$

- Tingkat keyakinan (*Convident Level* atau CL)

$$CL = 100\% - DA$$

$$= 100\% - 3,84761\% = 96,15238\%$$

Dari tabel koefisien tingkat keyakinan didapatkan nilai tingkat keyakinan (k) sebesar 2,071

- Batas kontrol

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

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

$$= 27,62334 + (2,071 \times 1,06283) = 29,82484$$

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

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

$$= 27,62334 - (2,071 \times 1,06283) = 25,42185$$

- Tingkat ketelitian (S)

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

$$= \frac{3,847611914}{100} = 0,038476119$$

- Kecukupan data observasi (N')

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

$$= \left[\frac{2,071}{0,03847} \sqrt{(3 \times 2291,407) - (82,87004)^2}}{82,87004} \right]^2 = 2,86028$$

Dari perhitungan diperoleh $N' = 2,86028$

Jadi $N' < N$ atau $2,86028 < 3$, maka data dapat dinyatakan cukup untuk dianalisis.

Dengan cara yang sama didapatkan hasil perhitungan analisis kecukupan data sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan analisis kecukupan data

Temperatur Injeksi	Ukuran Butir Al ₂ O ₃			
	63 μm	80 μm	100 μm	125 μm
200 °C	2,86028<3	2,40924<3	2,59656<3	2,49142<3
210 °C	2,39788<3	2,49875<3	2,34526<3	2,47128<3
220 °C	1,69030<3	2,41469<3	2,96348<3	2,86216<3
230 °C	1,49139<3	1,90562<3	2,55700<3	2,80816<3

4.3 Analisis Varian Dua Arah

Dari data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisis statistik yaitu analisis varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh ukuran butir dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

- $H_{01}: \alpha_i = 0$, tidak ada pengaruh ukuran butir Al₂O₃ terhadap kekuatan tekan
 $H_{11}: \alpha_i \neq 0$, ada pengaruh ukuran butir Al₂O₃ terhadap kekuatan tekan
- $H_{02}: \beta_j = 0$, tidak ada pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan
 $H_{12}: \beta_j \neq 0$, ada pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan
- $H_{03}: (\alpha\beta)_{ij} = 0$, tidak ada pengaruh interaksi antara ukuran butir Al₂O₃ dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan
 $H_{13}: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$, ada pengaruh interaksi antara ukuran butir Al₂O₃ dan temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan

Untuk mempermudah perhitungan, maka data disajikan dalam bentuk tabel 4.4 seperti dibawah ini.

Tabel 4.4 Perhitungan analisis statistik

Variasi	Pengulangan	Ukuran Butir Al ₂ O ₃				Σ total	
		63 μm	80 μm	100 μm	125 μm		
Temperatur Injeksi	200	1	28,85001	33,18005	37,99532	29,42689	
		2	26,97685	32,50148	32,79366	31,60862	
		3	27,04318	29,62756	34,49775	32,76835	
	Σ		82,87004	95,30909	105,2867	93,80386	377,2697
	Rata-rata		27,62335	31,7697	35,09558	31,26795	
	210	1	30,11201	33,09198	37,12444	34,00923	
		2	29,41712	35,67478	34,13585	33,38008	
		3	32,91387	36,78097	37,27265	36,99488	
	Σ		92,44299	105,5477	108,5329	104,3842	410,9079
	Rata-rata		30,81433	35,18258	36,17765	34,79473	
	220	1	31,01878	38,11724	36,74043	36,29404	
		2	38,97467	36,4994	37,21945	33,88672	
		3	34,53029	33,88672	39,28561	34,08787	
	Σ		104,5237	108,5034	113,2455	104,2686	430,5412
	Rata-rata		34,84125	36,16779	37,7485	34,75621	
	230	1	30,34944	38,01032	35,88006	33,88672	
2		30,63308	32,33492	34,12871	35,88077		
3		38,5878	38,28353	37,73748	33,26165		
Σ		99,57033	108,6288	107,7462	103,0291	418,9745	
Rata-rata		33,19011	36,20959	35,91541	34,34305		
Σ total		379,4071	417,9889	434,8114	405,4858	1637,693	

Kriteria pengujian

$\alpha = 0,05$

faktor A (ukuran butir) : $r = 4 \longrightarrow v_1 = (4-1) = 3$

faktor B (temperatur Injeksi) : $c = 4 \longrightarrow v_1 = (4-1) = 3$

ulangan : $t = 3$

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

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

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

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

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

Berdasarkan tabel 4.4 dapat dihitung antara lain:

1. Faktor koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \left[\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t \cdot X_{ijk} \right]^2 : rct \\ &= (28,85001+26,97685+27,04318+ \dots +33,26164)^2 : 48 \\ &= 55875,8186 \end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot X_{ij}^2}{t} - FK \\ &= \{(82,87004)^2+(92,44299)^2+(104,5237)^2+ \dots +(103,02914)^2\} - 55875,8186 \\ &= 301,0523 \end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t \cdot X_{ijk}^2 - FK \\ &= \{(28,85001)^2+(26,97685)^2+(27,04318)^2+ \dots +(33,26164)^2\} - 55875,8186 \\ &= 482,6795 \end{aligned}$$

4. Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$\begin{aligned} JKA &= \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - FK \\ &= \frac{\{(377,2697)^2 + (410,9079)^2 + (430,54122)^2 + (418,97448)^2\}}{12} - 55875,8186 \\ &= 131,1041 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$\begin{aligned} JKB &= \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rt} - FK \\ &= \frac{\{(379,4071)^2 + (417,9889)^2 + (434,8114)^2 + (405,4858)^2\}}{12} - 55875,8186 \\ &= 136,2002 \end{aligned}$$

6. Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B

$$\begin{aligned} JKAB &= JKP - JKA - JKB \\ &= 301,0523 - 131,1041 - 136,2002 \\ &= 33,74797 \end{aligned}$$

7. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKA - JKB - JKAB \\ &= 482,6795 - 131,1041 - 136,2002 - 33,74797 \\ &= 181,6272 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Tabel analisis varian dua arah

Sumber keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F _{hitung}	F _{tabel} ($\alpha = 5\%$)
Faktor A	3	131,1041	43,70136	7,699527	2,9
Faktor B	3	136,2002	45,40008	7,998816	2,9
Interaksi A dan B	9	33,74797	3,749774	0,660654	2,19
Galat	32	181,6272	5,67585	-	-
Total	47	482,6795	-	-	-

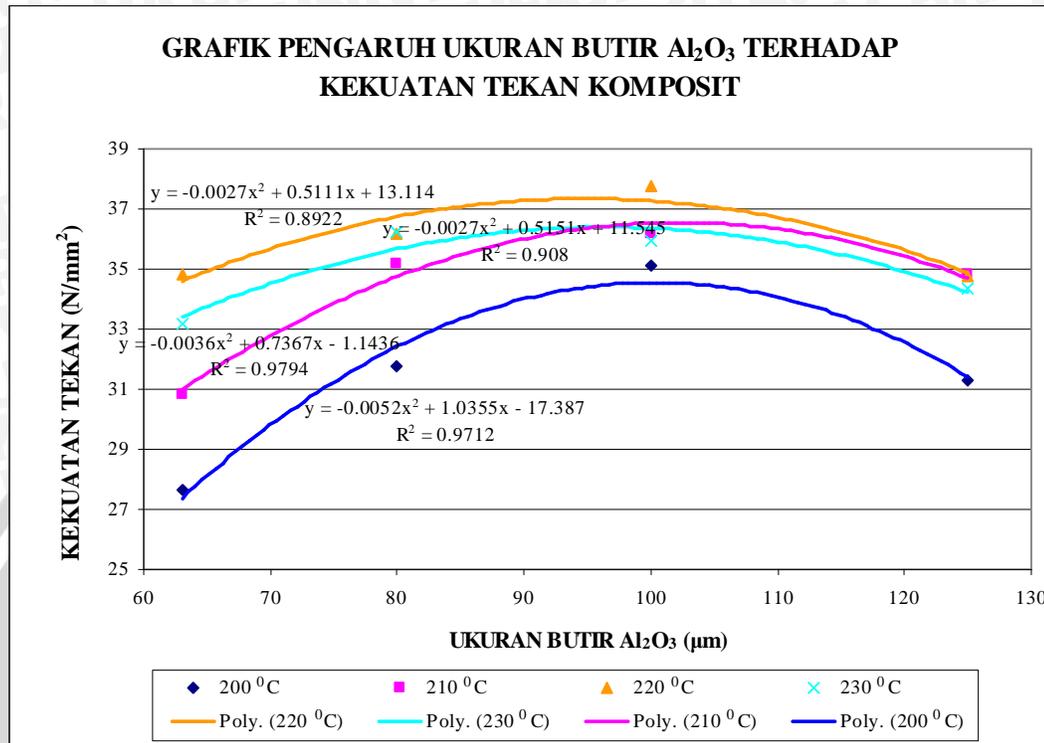
Berdasarkan tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa :

1. $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($7,699527 > 2,9$) ini berarti bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima artinya variasi ukuran butir Al_2O_3 mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tekan.
2. $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($7,998816 > 2,9$) ini berarti bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima artinya variasi temperatur injeksi mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tekan.
3. $F_{hitung} < F_{tabel}$ ($0,660654 < 2,19$) ini berarti bahwa H_{01} diterima dan H_{11} ditolak artinya interaksi ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tekan.

4.4 Pembahasan Grafik

Dari perhitungan data hasil pengujian dengan ukuran butir dan temperatur injeksi yang bervariasi maka didapatkan besarnya kekuatan tekan komposit yang bervariasi pula. Untuk mempermudah menganalisis, maka data hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.

4.4.1 Analisis Pengaruh Ukuran Butir Al₂O₃ Terhadap Kekuatan Tekan Komposit



Gambar 4.1 Grafik pengaruh ukuran butir Al₂O₃ terhadap kekuatan tekan komposit

Dari gambar 4.1 di atas dapat diketahui bahwa ukuran butir Al₂O₃ berpengaruh terhadap kekuatan tekan komposit. Kekuatan tekan komposit semakin meningkat dengan semakin besarnya ukuran butir Al₂O₃ sampai pada ukuran butir Al₂O₃ sebesar 100 µm. Sedangkan peningkatan ukuran butir setelah itu akan menurunkan kekuatan tekan komposit. Kekuatan tekan tertinggi komposit pada ukuran butir Al₂O₃ 100 µm dengan temperatur injeksi 220 °C sebesar 29,28561 N/mm². Sedangkan kekuatan tekan terendah pada ukuran butir 63 µm dengan temperatur injeksi 200 °C sebesar 26,97685 N/mm².

Pada komposit polipropilen dengan *filler* butiran Al₂O₃ hanya terjadi ikatan mekanik (*mechanical bonding*) saja. Ikatan mekanik ini terjadi ketika matriks mengisi lekuk-lekuk pada permukaan *filler* sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*). Semakin kuat ikatan tersebut, maka semakin tinggi kekuatan tekannya (Matthews and Rawlings, 1994 : 62).

Semakin kecil ukuran butir, maka lekukan pada permukaan butir semakin kecil pula. Hal ini mengakibatkan sulitnya matriks untuk dapat mengisi seluruh lekukan pada

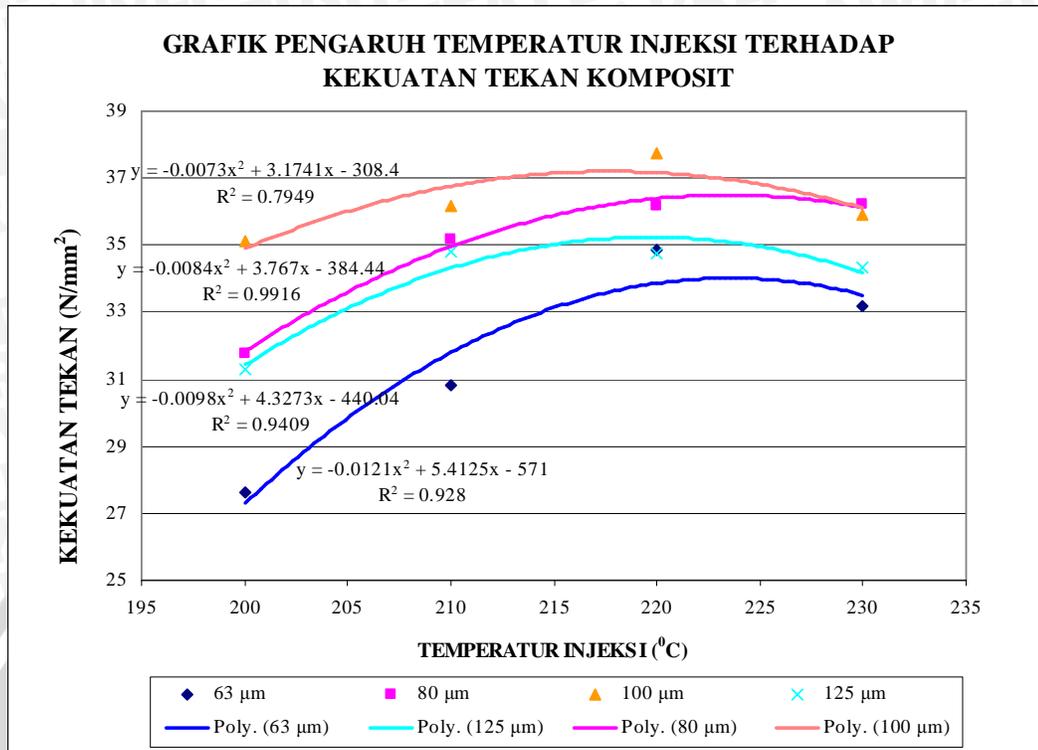
permukaan butir Al_2O_3 yang kecil. Lemahnya ikatan antara matriks dan *filler* mengakibatkan kekuatan tekan komposit yang rendah. Fenomena ini dapat terjadi pada komposit polipropilen seperti yang terlihat dalam gambar 4.1 pada ukuran butir Al_2O_3 sebesar 63 μm sampai dengan 100 μm . Pada parameter tersebut semakin kecil ukuran butir Al_2O_3 kekuatan tekannya semakin menurun.

Sedangkan pada ukuran butir Al_2O_3 sebesar 100 μm sampai dengan 125 μm , penurunan kekuatan tekan terjadi seiring dengan meningkatnya ukuran butir Al_2O_3 . Pada parameter ini ukuran butir yang lebih kecil justru dapat meningkatkan kekuatan tekan komposit. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran butir Al_2O_3 maka luasan permukaan per satuan volume Al_2O_3 akan semakin besar. Sehingga luasan kontak antara matriks dengan *filler* akan semakin besar pula. Hal ini mengakibatkan ikatan antara matriks dan *filler* menjadi lebih kuat, sehingga kekuatan tekan komposit menjadi lebih tinggi sebagaimana yang diungkapkan oleh Lawrence (1989: 369) bahwa pada komposit partikel, dengan semakin kecilnya ukuran partikel/butiran maka kekuatannya akan semakin meningkat.

4.4.2 Analisis Pengaruh Temperatur Injeksi Terhadap Kekuatan Tekan Komposit

Gambar 4.2 di bawah ini menunjukkan adanya pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit. Kekuatan tekan komposit meningkat seiring meningkatnya temperatur injeksi sampai dengan 220 $^{\circ}\text{C}$. Peningkatan temperatur setelah itu akan menurunkan kekuatan tekan komposit. Kekuatan tekan tertinggi dicapai pada temperatur 220 $^{\circ}\text{C}$ sebesar 39,28561 N/mm^2 dengan ukuran butir Al_2O_3 sebesar 100 μm . Sedangkan kekuatan tekan terendah pada temperatur 200 $^{\circ}\text{C}$ sebesar 26,97685 N/mm^2 yang terjadi pada ukuran butir Al_2O_3 sebesar 63 μm .

Temperatur sangat berpengaruh terhadap kekuatan tekan komposit karena semakin tinggi temperatur mengakibatkan penurunan viskositas matriks, yaitu polipropilen. Hal ini akan mempermudah matriks tersebut untuk dapat mengisi lekukan pada tiap butiran Al_2O_3 . Semakin banyak lekukan yang terisi oleh matriks, maka ikatan antara matriks dan *filler* akan semakin kuat sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekannya. Hal ini dapat dilihat dalam gambar 4.2 untuk temperatur 200 $^{\circ}\text{C}$ sampai dengan 220 $^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh temperatur injeksi terhadap kekuatan tekan komposit

Pada temperatur yang tinggi, sangat mungkin *filler* tenggelam dalam matriks (Crawford, 1989: 193). Tenggelamnya *filler* ini dikarenakan viskositas matriks yang terlalu rendah pada temperatur yang tinggi. *Filler* yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi dari matriks secara perlahan akan turun. Fenomena seperti ini dapat mengakibatkan butiran Al_2O_3 yang memiliki massa jenis tiga kali lipat dari polipropilen akan turun secara perlahan saat pelelehan polipropilen pada temperatur yang tinggi. Hal ini mengakibatkan dispersi Al_2O_3 yang tidak merata pada matriks saat diinjeksikan ke dalam cetakan. Sehingga pada kondisi ini kekuatan tekan komposit akan menurun. Hal ini dapat dilihat dalam gambar 4.2 untuk temperatur 220 °C sampai dengan 230 °C.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi berpengaruh terhadap kekuatan tekan komposit polipropilen. Semakin besar ukuran butir Al_2O_3 kekuatan tekannya semakin meningkat dan mencapai maksimal pada ukuran butir 100 μm , penambahan ukuran butir setelah itu akan menurunkan kekuatan tekan komposit polipropilen. Kekuatan tekan komposit juga meningkat seiring meningkatnya temperatur penginjeksian dan mencapai nilai maksimal pada temperatur 220 $^{\circ}C$. Peningkatan temperatur setelah itu akan menurunkan kekuatan tekan komposit. Kekuatan tekan komposit tertinggi mencapai 39,28561 N/mm^2 dan terendah 26,97685 N/mm^2 . Sedangkan interaksi antara ukuran butir Al_2O_3 dan temperatur injeksi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tekan komposit.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi yang berbeda sehingga didapatkan kekuatan maksimal.
2. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan zat aditif pada komposit polimer temoplastik sehingga dapat meningkatkan kekuatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.C. *et.al.* 1990. *Materials Science*. London: Chapman & Hall
- Anonim.1982. *Annual Book of ASTM Standart: Plastic General Test Methods*. Nomenclature: Part 35
- 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
- Chan, Navin *et. al.* 2000. *Development, Structure and Strength Properties of PP/PMMA/FA Blends*. Regional Research Laboratory, Habibganj Naka, Bhopal, India
- Crawford, R. J. 1989. *Plastic Engineering: Second Edition*. New York: Pergamon Press
- Dym, Joseph B. 1991. *Injection Molds and Molding, A Practical Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold Company
- Edi Cahyono. 2005. "Pengaruh Temperatur Pelelehan dan Fraksi Volume *Carbon Black* Terhadap Tegangan Tarik Komposit Polietilen". *Skripsi Tidak Diterbitkan*. Malang: Jurusan Mesin FT Unibraw, 2005
- Hifni, M, 1992. *Analisis Varian dan Penerapannya*, Malang: Kopma Press
- Jacob, J.A.1997. *Engineering Material Technology*. New Jersey:Prentice Hall. Inc.
- Jastrzebski, Zbigniew D. 1987. *The Nature and Properties of Engineering Materials: Third Edition*. Canada: John Wiley and Sons
- Jung, Chan-Hee *et. al.* 2006. *Preparation and Characterization of Polypropylene Nanocomposites Containing Polystyrene-grafted Alumina Nanoparticles*. Korea Atomic Energy Research Institute, Korea
- Matthews, F. L dan R. D. Rawlings. 1994. *Composite Material: Engineering and Science*. London: Chapman & Hall
- Meru Reza Sulaiman. 2007. "Pengaruh Fraksi Volume Komposit *Hybrid* Polietilen yang Diperkuat Serbuk Sekam Padi dan Serbuk *Carbon Black* Terhadap Kekuatan Tekan Komposit". *Skripsi Tidak Diterbitkan*. Malang: Jurusan Mesin FT Unibraw, 2007
- Schwartz , Mel M.1996. *Composite Material : Properties, Nondestructive Testing and Repair*. New Jersey : Prentice Hall
- Smith, William F. 2004. *Foundation of Material Science and Engineering*. New York: Mc Graw Hill
- Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Bandung : Pradnya Paramita
- Vlack, Lawrence H. Van. 1989. *Elements of Materials Science and Engineering: Sixth Edition*. Canada: Addison - Wesley Publishing Company
- www.asia.matweb.com/search/SearchSeq.asp
- www accuratus.com/alumox.html
- www.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oksida

[www.wikipedia.org/wiki/Composite material](http://www.wikipedia.org/wiki/Composite_material)

www.wikipedia.org/wiki/Polymer

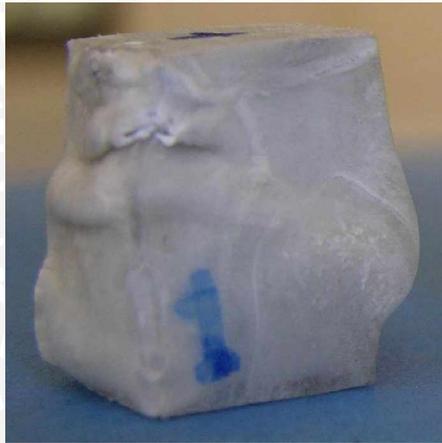
www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene



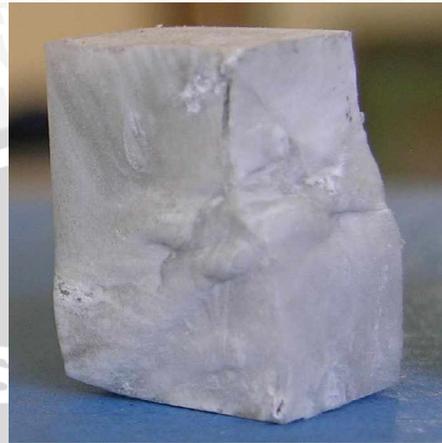


LAMPIRAN

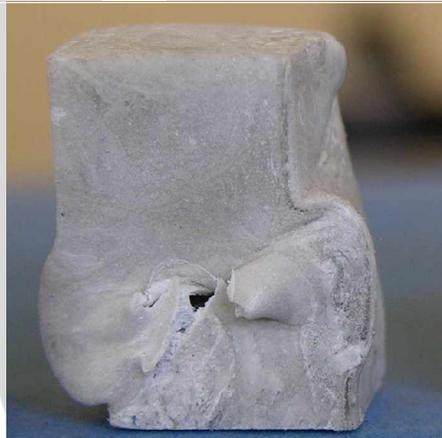
LAMPIRAN 1. Foto Spesimen Hasil Uji Tekan



63 μm – 200 $^{\circ}\text{C}$



63 μm – 210 $^{\circ}\text{C}$



63 μm – 220 $^{\circ}\text{C}$



63 μm – 230 $^{\circ}\text{C}$



80 μm – 200 $^{\circ}\text{C}$



80 μm – 210 $^{\circ}\text{C}$



80 μm – 220 $^{\circ}\text{C}$



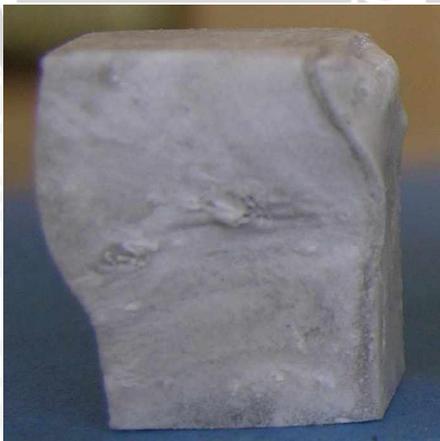
80 μm – 230 $^{\circ}\text{C}$



100 μm – 200 $^{\circ}\text{C}$



100 μm – 210 $^{\circ}\text{C}$



100 μm – 220 $^{\circ}\text{C}$



100 μm – 230 $^{\circ}\text{C}$



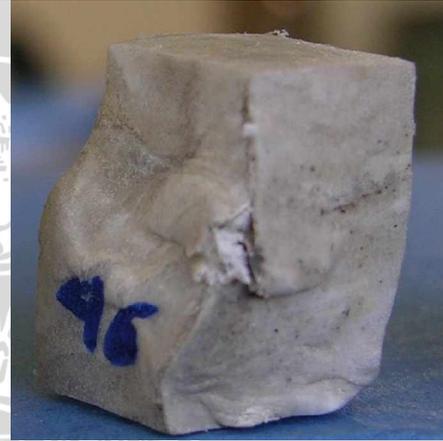
125 μm – 200 $^{\circ}\text{C}$



125 μm – 210 $^{\circ}\text{C}$



125 μm – 220 $^{\circ}\text{C}$



125 μm – 230 $^{\circ}\text{C}$

Lampiran 2. Alat yang Digunakan



Mesin Pengujian Tekan



Mesin Ayak Rotab



Cetakan Spesimen Uji Tekan



Injection Molding





Jangka Sorong



Gergaji



Cutter



Timbangan Digital



Lampiran 3. Bahan yang Digunakan



Al_2O_3 63 μm



Al_2O_3 80 μm



Al_2O_3 100 μm



Al_2O_3 125 μm



Polipropilen

Lampiran 4. Tabel uji F untuk $\alpha = 5\%$



V1 \ V2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00