

**PENGARUH PENEKANAN DAN FRAKSI BERAT SERBUK TITANIUM DIOKSIDA  
(TiO<sub>2</sub>) PADA METAL Matrik ALUMINIUM TERHADAP KEKUATAN MEKANIK  
HASIL PROSES *SINTERING***

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**AHMAD HUSNI MUBARROK**

**NIM. 0210623008-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN MESIN**

**MALANG**

**2007**

## LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PENEKANAN DAN FRAKSI BERAT SERBUK TITANIUM DIOKSIDA  
(TiO<sub>2</sub>) PADA METAL Matrik ALUMINIUM TERHADAP KEKUATAN MEKANIK  
HASIL PROSES *SINTERING***

### SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**AHMAD HUSNI MUBARROK**

**NIM. 0210623008-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Abdul Hadi Djaelani**  
NIP. 130 518 942

**Mochamad Syamsul Ma'arif ST, MT**  
NIP. 132 206 463

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH PENEKANAN DAN FRAKSI VOLUME SERBUK TITANIUM DIOKSIDA ( $\text{TiO}_2$ ) PADA METAL Matrik ALUMINIUM TERHADAP KEKUATAN MEKANIK HASIL PROSES *SINTERING*

Disusun Oleh :

**AHMAD HUSNI MUBARROK**

**NIM. 0210623008-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 16 Mei 2007

**DOSEN PENGUJI**

**SKRIPSI 1**

**SKRIPSI 2**

**Anandito Purnowidodo. ST, M.Eng, Dr. Eng**  
**NIP. 132 206 466**

**Ir. Wahyono Soeprapto M, Met**  
**NIP. 131 574 846**

**Komprehensif**

**Ir. Djoko Sutikno, M.Eng**  
**NIP. 131 276 249**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin:

**Ir. Bambang Indrayadi, MT.**  
**NIP. 131 653 469**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul *“PENGARUH PENEKANAN DAN FRAKSI VOLUME SERBUK TITANIUM DIOKSIDA (TiO<sub>2</sub>) PADA METAL Matrik ALUMINIUM TERHADAP KEKUATAN MEKANIK HASIL PROSES SINTERING”* ini dengan baik. Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak.

Oleh sebab itu penulis menyatakan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu :

- Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT, selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT, selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Bapak Ir. Abdul Hadi Djaelani, selaku dosen pembimbing pertama.
- Bapak Mochamad Syamsul Ma'arif ST, MT, selaku dosen pembimbing kedua.
- Teman-teman angkatan 2001 yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan skripsi.
- Seluruh teman-teman yang secara langsung atau tidak langsung khususnya Mesin angkatan 2002 yang telah membantu dalam kelancaran terselesaikannya skripsi ini dengan baik.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan dalam kesempurnaan skripsi ini.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak lain yang tertarik untuk mengembangkannya.

Malang, Mei 2007

Penyusun

## DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                    | i   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | ii  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                     | iv  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                      | v   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                                   | vi  |
| <b>RINGKASAN</b> .....   | vii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                       |     |
| 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   |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                                 |     |
| 2.1 Powder Metallurgy.....                                     | 4   |
| 2.1.1 Karakteristik Serbuk Logam.....                          | 6   |
| 2.2 <i>Metal Matrix Composite</i> .....                        | 7   |
| 2.3 Klasifikasi material komposit.....                         | 8   |
| 2.3.1 Komposit Partikel.....                                   | 8   |
| 2.3.2 Komposit Serat.....                                      | 9   |
| 2.4 Komposit Matrik Logam Dengan Penguat Yang Tidak Kontinyu.. | 10  |
| 2.5 Proses Pembuatan Komposit Matrik Logam.....                | 10  |
| 2.6 Teori Ikatan Penguat terhadap Komposit Matrik.....         | 11  |
| 2.7 Penekanan.....   | 11  |
| 2.8 Sintering.....   | 13  |
| 2.9 Pencampuran( <i>Mixing</i> ) .....                         | 14  |
| 2.10 Material Pembentuk Komposit Matrik Logam.....             | 14  |
| 2.10.1 Matriks.....  | 14  |
| 2.10.2 Serbuk Titanium Dioksida Sebagai <i>Filler</i> .....    | 16  |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.11 Kekerasan.....                | 17 |
| 2.12 <i>Bending Sterngth</i> ..... | 18 |
| 2.13 Hipotesis.....                | 19 |

### **BAB III METODE PENELITIAN**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Metode penelitian .....                          | 20 |
| 3.2 Variabel Penelitian.....                         | 20 |
| 3.3 Tempat dan waktu penelitian.....                 | 20 |
| 3.4 Bahan dan Alat yang Digunakan.....               | 21 |
| 3.4.1 Bahan Penelitian.....                          | 21 |
| 3.4.2 Alat-alat yang Digunakan.....                  | 21 |
| 3.5 Prosedur penelitian.....                         | 22 |
| 3.6 Metode pengujian.....                            | 23 |
| 3.6.1 Metode Pengujian Kekuatan <i>Bending</i> ..... | 23 |
| 3.6.2 Dimensi spesimen.....                          | 24 |
| 3.6.3 Metode Pengujian kekerasan.....                | 24 |
| 3.7 Rencana Penelitian.....                          | 25 |
| 3.8 Analisis statistik.....                          | 25 |
| 3.9 Diagram alir penelitian.....                     | 28 |

### **BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Data dan Pembahasan.....                                       | 29 |
| 4.1.1 Pengaruh Fraksi Berat terhadap Kekerasan.....                | 29 |
| 4.1.2 Pengaruh Fraksi Berat terhadap Kekuatan <i>Bending</i> ..... | 30 |
| 4.2 Analisis varian .....  | 31 |
| 4.2.1 Analisa Varian Dua Arah Kekerasan .....                      | 31 |
| 4.2.2 Analisa Varian Dua Arah Kekuatan <i>Bending</i> .....        | 33 |
| 4.3 Analisa Regresi.....   | 41 |
| 4.4 Analisa Mikrostruktur.....                                     | 48 |
| 4.5 Analisa Patahan.....   | 50 |

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

| No.         | Judul   | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 2.1  | : Proses metalurgi serbuk dari material mentah menjadi parts.....   | 5       |
| Gambar 2.2  | : Metode penyusunan material komposit.....  | 8       |
| Gambar 2.3  | : Klasifikasi material komposit.....  | 9       |
| Gambar 2.4  | : Proses Penekanan.....   | 12      |
| Gambar 2.5  | : Proses Difusi antar butir .....   | 14      |
| Gambar 2.6  | : Brinell test.....   | 18      |
| Gambar 2.7  | : Pengujian lentur.....   | 19      |
| Gambar 3.1  | : Langkah pembuatan spesimen.....   | 22      |
| Gambar 3.2  | : Alat <i>Pressing</i> .....  | 23      |
| Gambar 3.3  | : Spesimen pengujian kekuatan <i>bending</i> .....  | 24      |
| Gambar 3.4  | : Spesimen pengujian kekerasan.....   | 25      |
| Gambar 3.5  | : Diagram alir penelitian.....  | 28      |
| Gambar 4.1  | : Grafik hubungan fraksi berat serbuk titanium dioksida<br>Terhadap kekerasan pada perbedaan tekanan..... | 29      |
| Gambar 4.2  | : Partikel kecil mengisi rongga antara partikel besar.....  | 31      |
| Gambar 4.3  | : Pertumbuhan batas butir antar partikel pada proses <i>sintering</i> .....                               | 31      |
| Gambar 4.4  | : Efek <i>bridging</i> .....  | 32      |
| Gambar 4.5  | : Grafik hubungan fraksi berat serbuk titanium dioksida<br>Terhadap kekerasan pada perbedaan tekanan..... | 33      |
| Gambar 4.6  | : Macam bentuk butir.....   | 35      |
| Gambar 4.7  | : Proses pengerasan dispersi.....   | 35      |
| Gambar 4.8  | : Hasil pemotretan struktur mikro spesimen dengan tekanan<br>350 bar.....                                 | 48      |
| Gambar 4.9  | : Hasil pemotretan struktur mikro spesimen dengan tekanan<br>400 bar.....                                 | 49      |
| Gambar 4.10 | : Bentuk patahan dengan penekanan 350 bar.....  | 50      |
| Gambar 4.11 | : Bentuk patahan dengan penekanan 400 bar.....  | 51      |

## DAFTAR TABEL

| No.         | Judul  | Halaman |
|-------------|--|---------|
| Tabel 2.1 : | Ukuran mesh, standar ASTM.....   | 6       |
| Tabel 2.2 : | <i>compacting pressures for various metal powder</i> .....             | 13      |
| Tabel 2.3 : | <i>typical physical and mechanical properties of titania</i> .....     | 17      |
| Tabel 3.1 : | Tabel Dimensi spesimen pengujian kekuatan <i>bending</i> .....         | 25      |
| Tabel 3.2 : | Analisa varian dua arah.....   | 26      |
| Tabel 4.1 : | Data hasil pengujian kekerasan (BHN).....                              | 29      |
| Tabel 4.2 : | Data hasil pengujian kekuatan <i>bending</i> (N/mm <sup>2</sup> )..... | 33      |
| Tabel 4.3 : | Analisa varian dua arah kekerasan.....                                 | 38      |
| Tabel 4.4 : | Analisa varian dua arah kekuatan <i>bending</i> .....                  | 40      |





## DAFTAR LAMPIRAN

| No.         | Judul  |    |
|-------------|--|----|
| Lampiran 1. | Daftar uji kekerasan.....  | 55 |
| Lampiran 2. | Dartar uji bending.....  | 56 |
| Lampiran 3. | Kecukupan data.....  | 56 |
| Lampiran 4. | Foto makro.....  | 59 |
| Lampiran 5. | Foto Mikrostruktur.....  | 61 |
| Lampiran 6  | Foto Patahan <i>Bending</i> .....                                | 63 |
| Lampiran 7  | Foto alat-alat penelitian.....                                   | 65 |
| Lampiran 8  | Tabel T.....   | 67 |
| Lampiran 9  | Tabel F ( $\alpha$ ; $v_1$ ; $v_2$ ) untuk $\alpha = 0.05$ ..... | 68 |



## RINGKASAN

**Ahmad Husni Mubarrok, 2007. Universitas Brawijaya. Pengaruh Penekanan dan Fraksi Berat Serbuk Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ) pada Metal Matrik Aluminium Terhadap Kekuatan Mekanik Hasil Proses Sintering. Dosen Pembimbing : Ir. Abdul Hadi Djaelani & Mochamad Syamsul Ma'arif ST,MT.**

Komposit Material Logam (*Metal Matrix Composites*), yang merupakan salah satu bagian dari komposit, merupakan hasil inovasi material teknik yang dibuat dengan cara mencampurkan secara makro dari dua jenis material atau lebih. Komposit material logam memiliki dua material penyusun utama yaitu matrik dan *filler*. Proses produksi MMCs dilakukan dengan metode metalurgi serbuk. Hal ini tidak terlepas dari kenyataan bahwa karena aluminium mempunyai titik lebur  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan titanium mempunyai titik lebur  $1668\text{ }^{\circ}\text{C}$  maka menyatukannya dengan cara biasa sangat sulit (pengecoran), oleh sebab itu untuk menyatukan kedua unsur tersebut digunakan metode *powder metallurgy* (metalurgi serbuk). Keuntungan penggunaan metalurgi serbuk adalah proses pembuatan komponen relatif lebih murah, produk yang dihasilkan dapat langsung digunakan tanpa perlu proses permesinan dan dapat diproduksi dalam skala kecil maupun masal.

Material yang digunakan untuk pembuatan AMC (merupakan salah satu jenis dari MMCs) yaitu paduan Aluminium sebagai matriksnya dan  $TiO_2$  sebagai penguat. Dalam skripsi ini menggunakan metode eksperimental nyata, yang bertujuan untuk menyelidiki kekerasan dan kekuatan *bending* AMC dari hasil proses *Powder Metallurgy Process*. Penekanan *Sintering* yang digunakan adalah 350 bar dan 400 bar, dan fraksi berat  $TiO_2$  sebesar 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% berfungsi sebagai variabel bebas. Sedangkan untuk variabel terikatnya adalah kekerasan dan kekuatan *bending* AMC, dan untuk parameter kendali adalah temperatur sebesar  $500^{\circ}\text{C}$ , waktu *Sintering* selama 30 menit. Kemudian data yang diperoleh tersebut diolah menggunakan analisis statistik dan analisis regresi untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh fraksi berat dan penekanan *Sintering* terhadap kekerasan dan kekuatan *bending* AMC dengan penguat  $TiO_2$ .

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa dengan penekanan 400 bar, kekerasan rata-rata terbesar yaitu 45,667 BHN pada fraksi berat 4%, sedangkan kekerasan rata-rata terkecil sebesar 38,7 BHN pada fraksi berat 0%. Sedangkan dengan penekanan 350 bar kekerasan rata-rata terbesar yaitu 42,4 BHN pada fraksi berat 4%, sedangkan kekerasan rata-rata terkecil sebesar 36,833 BHN pada fraksi berat 8%. Untuk pengujian *bending* dengan penekanan 400 bar, kekuatan *bending* rata-rata terbesar yaitu  $50,796\text{ N/mm}^2$  pada fraksi berat 4%, sedangkan kekuatan *bending* rata-rata terkecil sebesar  $34,877\text{ N/mm}^2$  pada fraksi berat 0%. Sedangkan dengan penekanan 350 bar kekuatan *bending* rata-rata terbesar yaitu  $46,596\text{ N/mm}^2$  pada fraksi berat 4%, sedangkan kekuatan *bending* rata-rata terkecil sebesar  $26,507\text{ N/mm}^2$  pada fraksi berat 8%.

**Kata kunci :** Sintering, kekerasan, kekuatan *bending*, *Aluminium Matrix Composite*,  $TiO_2$ .

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komposit (dimana salah satunya adalah *Metal Matrix Composite* (MMCs)) telah ada sejak 1960. Meskipun demikian, aplikasinya pada waktu itu masih sangat terbatas dikarenakan faktor biaya produksi yang mahal dan pemahaman yang masih kurang mengenai material ini. Hal tersebut sangatlah bertolak belakang dengan keadaan sekarang ini, dimana ilmu pengetahuan tentang komposit telah berkembang jauh lebih maju. Dewasa ini, sejalan dengan pertumbuhan industri komposit di dunia, material komposit telah banyak digunakan sebagai pengganti material logam, karet dan kayu. Alasan pemakaiannya sebagai material alternatif dikarenakan komposit memiliki sifat-sifat yang lebih unggul jika dibandingkan dengan material lainnya, antara lain : mempunyai beban yang ringan tetapi mempunyai kekuatan yang lebih baik, hasil akhir (permukaan dan penampilan) yang lebih baik, umur pemakaian yang lebih lama dan tahan terhadap korosi (Schwartz, 1997:5) (Pravikananta, yuka ; 2006).

Komposit Material Logam (*Metal Matrix Composites*), yang merupakan salah satu bagian dari komposit, merupakan hasil inovasi material teknik yang dibuat dengan cara mencampurkan secara makro dari dua jenis material atau lebih. Komposit material logam memiliki dua material penyusun utama yaitu matrik dan *filler*. Matrik yang umum dipakai adalah Al, Mg, Ni, Ti, Cu dan Fe, sedangkan *filler* yang umum dipakai adalah SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC, TiB<sub>2</sub> dan C yang bertujuan untuk mengurangi biaya per unit volume (Matthews and Rawlings, 1994).

Beberapa penelitian dalam bidang MMCs sebelumnya menggunakan kombinasi matriks dan *filler* yang berbeda. Kombinasi seperti SiC yang dimasukkan dalam sistem MMCs (Suprpto : 1998) dan penambahan partikel oksida dan karbida pada matriks Al (Ibrahim dan Bronsveld : 1991) dan (Lu et. al : 1999) menunjukkan bahwa penambahan *filler* sampai volume tertentu akan meningkatkan kekuatan mekanik MMCs.

Dalam penelitian ini dicoba untuk membuat komposit matrik logam yang dibuat dari aluminium paduan sebagai matrik dan serbuk titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) sebagai *filler*. Partikel titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) yang dipakai sebagai unsure penguat, memiliki sifat-sifat seperti kekerasan yang tinggi tetapi rapuh, tahan terhadap asam, gas *chlorine* dan larutan garam biasa,

serta mempunyai sifat yang ringan, kuat, mudah ditempa, mengkilap/berkilau dan berwarna putih dan mempunyai nilai ekonomis yang lebih rendah dari pada aluminium. Juga titanium dioksida mempunyai berat 60% lebih dari aluminium *alloy*. (Swithers. F.S. : 2006)

Dalam penelitian ini, proses produksi MMCs dilakukan dengan metode metalurgi serbuk. Hal ini tidak terlepas dari kenyataan bahwa karena aluminium mempunyai titik lebur 660 °C dan titanium mempunyai titik lebur 1668 °C maka menyatukannya dengan cara biasa sangat sulit (pengecoran), oleh sebab itu untuk menyatukan kedua unsur tersebut digunakan metode *powder metallurgy* (metalurgi serbuk). Keuntungan penggunaan metalurgi serbuk adalah proses pembuatan komponen relatif lebih murah, produk yang dihasilkan dapat langsung digunakan tanpa perlu proses permesinan dan dapat diproduksi dalam skala kecil maupun besar. (Swithers. F.S. : 2006). karena salah satu langkah dalam metalurgi serbuk ini membutuhkan penekanan yang dilanjutkan dengan proses *sintering* (dimana proses ini dilakukan dalam temperatur pemanasan dibawah temperatur lebur logam) maka dipandang perlu untuk memasukkan variabel tekanan kedalam rancangan penelitian ini karena tekanan akan berpengaruh terhadap kepadatan komposit yang jika digabung dengan proses *sintering* akan mempengaruhi proses difusi antar partikel serbuk sehingga partikel akan menyatu, dan terbentuk komposit yang padat.

Dari penelitian ini diharapkan dari perbedaan fraksi berat titanium dioksida ( $TiO_2$ ) dan perbedaan penekanan dan pada metal matrik aluminium akan memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik (dalam hal ini kekerasan dan kekuatan *bending*) dan karakteristik dari *matrix* tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas maka dapat dirumuskan permasalahan yang diteliti, yaitu bagaimana pengaruh penekanan dan fraksi berat serbuk titanium dioksida ( $TiO_2$ ) pada metal matrik aluminium (Al) terhadap kekerasan dan kekuatan *bending* hasil proses *sintering*.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sifat mekanik yang digunakan adalah kekerasan dan kekuatan *bending*.
2. Serbuk yang digunakan adalah serbuk titanium dioksida ( $TiO_2$ ).

3. Fraksi berat (%) yang digunakan adalah ( 0:100 ), (2:98), (4:96), (6:94) dan (8:92)
4. Variasi tekanan yang digunakan adalah 350 bar dan 400 bar.
5. Jenis matrik yang digunakan adalah aluminium serbuk.
6. Temperatur dan *holding sinter* yang digunakan adalah 500<sup>0</sup>C dan 30 menit.

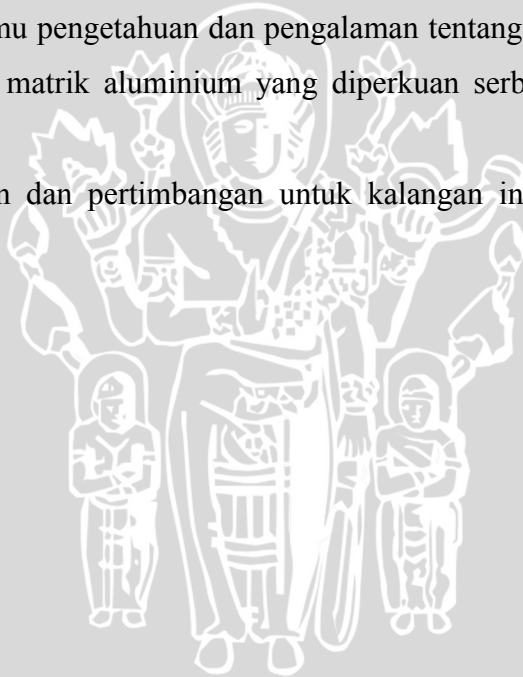
#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penekanan dan fraksi berat serbuk titanium dioksida pada metal matrik aluminium terhadap kekerasan dan kekuatan *bending*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. Menambah wawasan ilmu pengetahuan dan pengalaman tentang pembuatan komposit metal khususnya metal matrik aluminium yang diperkuatkan serbuk titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>).
2. Sebagai bahan masukan dan pertimbangan untuk kalangan industri yang bergerak pada komposit metal.

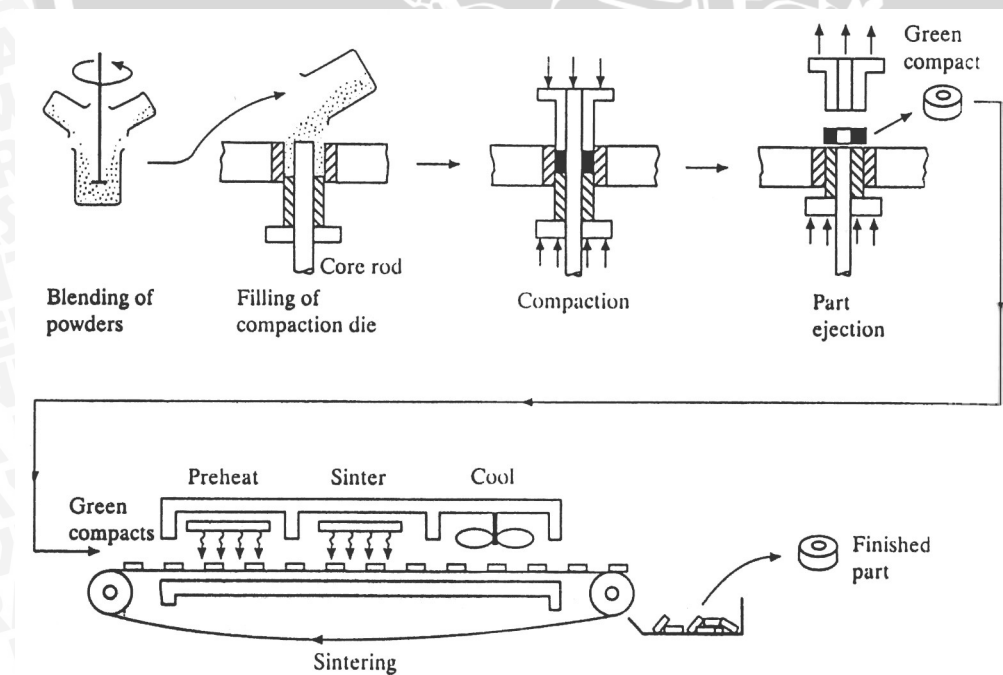


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Powder Metallurgy

*Powder Metallurgy process* merupakan proses produksi dari bubuk logam yaitu fabrikasi, karakterisasi dan pengubahan dari serbuk menjadi komponen-komponen yang berguna, seperti terlihat pada Gambar 2.1. Proses ini disertai pemanasan dengan temperatur proses dibawah temperatur cair serbuk. (Amstead, BH et al; 1990: 203)

*Powder Metallurgy* dikenal dengan *sintering process*. Proses ini dilakukan dengan cara partikel-partikel halus (10 sampai 80  $\mu\text{m}$ ) yang diberi tekanan (69 sampai 414 Mpa) dengan tujuan untuk memampatkan hasil pencampuran antara matrik dan penguat. Dari hasil penekanan tersebut dihasilkan *green compact* yang kemudian dilakukan pemanasan dibawah titik cair serbuk, dimana proses ini ditujukan untuk menghasilkan pengikatan partikel-partikel halus didalamnya sehingga akan didapatkan hasil sifat-sifat mekaniknya akan meningkat. Produk hasil *Powder Metallurgy* yaitu termasuk pembuatan Komposit Matriks Logam (Budinski, Kenneth G; 1996: 480).



Gambar 2.1 Proses metalurgi serbuk dari material mentah menjadi parts  
Sumber: Budinski, Kenneth G; 1996: 480

Kelebihan penggunaan proses *Powder Metallurgy* pada pembuatan *Metal Matrix Composite* antara lain :

1. Suhu yang digunakan dapat lebih rendah daripada metalurgi cair.
2. Produk yang dihasilkan memiliki presisi ukuran yang baik sehingga tidak diperlukan pengerjaan lebih lanjut.
3. Ekonomis karena tidak ada bahan yang terbuang ketika diproduksi
4. Upah buruh rendah karena tidak diperlukan keahlian yang khusus.

Dalam proses *Powder Metallurgy* pada pembuatan *Aluminium Matrix Composite* ini ukuran butir juga ikut berpengaruh, hal ini dikarenakan dengan ukuran butir semakin kecil maka akan semakin mudah butir tersebut untuk bergabung dengan butir yang lain. Ukuran butir hasil pengayaan yang telah ditentukan menurut Standar ASTM dapat kita lihat dari Tabel 2.1

Tabel 2.1 Ukuran mesh, standar ASTM

**TABLE 2.3 Standard Sieve Sizes (U. S. Standard, ASTM E11)**

| Mesh size | Opening in $\mu\text{m}$ | Permissible Variation $\pm \mu\text{m}$ | Maximum Individual Opening in $\mu\text{m}$ |
|-----------|--------------------------|---|---|
| 18        | 1000                     | 40                                      | 1135  |
| 20        | 850                      | 35                                      | 970   |
| 25        | 710                      | 30                                      | 815   |
| 30        | 600                      | 25                                      | 695   |
| 35        | 500                      | 20                                      | 585   |
| 40        | 425                      | 19                                      | 502   |
| 45        | 355                      | 16                                      | 425   |
| 50        | 300                      | 14                                      | 363   |
| 60        | 250                      | 12                                      | 306   |
| 70        | 212                      | 10                                      | 263   |
| 80        | 180                      | 9                                       | 227   |
| 100       | 150                      | 8                                       | 192   |
| 120       | 125                      | 7                                       | 163   |
| 140       | 106                      | 6                                       | 141   |
| 170       | 90                       | 5                                       | 122   |
| 200       | 75                       | 5                                       | 103   |
| 230       | 63                       | 4                                       | 89  |
| 270       | 53                       | 4                                       | 76  |
| 325       | 45                       | 3                                       | 66  |
| 400       | 38                       | 3                                       | 57  |

Sumber : German, 1994: 17

Dalam penelitian ini, untuk aluminium menggunakan mesh ukuran 230 dengan hasil butir berukuran 63  $\mu\text{m}$  dan untuk titanium dioksida menggunakan mesh ukuran 400 dengan hasil butir 38  $\mu\text{m}$  (Pravikananta, yuka ; 2006). Dimana mesh adalah jumlah kawat per satuan

panjang (inch) dalam satu kotak. Semakin besar angka mesh maka semakin kecil ukuran butirnya. Untuk proses ini dimana kita mengayaknya menggunakan *screening* yang hanya dapat digunakan hingga ukuran mesh terkecil 400 dengan ukuran butir 38  $\mu\text{m}$ . Ukuran ini merupakan ukuran minimum untuk proses *powder metallurgy* dengan menggunakan ayakan. (German, 1984, 16).

### 2.1.1 Karakteristik Serbuk Logam

Ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran serbuk logam mempengaruhi karakteristik dan sifat fisis dari benda yang dimampatkan. Serbuk dibuat sesuai dengan spesifikasi antara lain (Amstead, 1990 : 204):

#### 1. Bentuk

Bentuk partikel serbuk tergantung pada cara pembuatannya, dapat bulat, tak teratur (ragged), dendritik, pipih (flat) atau bersudut tajam (angular).

#### 2. Kehalusan (*Fineness*)

Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir dan ditentukan dengan mengayak serbuk dengan ayakan standart atau dengan pengukuran mikroskop. Ayakan standart berukuran 140  $\mu\text{m}$  sampai 400  $\mu\text{m}$  digunakan untuk mengecek ukuran dan menentukan distribusi ukuran partikel dalam daerah tertentu.

#### 3. Distribusi Ukuran Partikel

Distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari setiap ukuran standart dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir, berat jenis dan porositas produk cukup besar. Distribusi tidak dapat diubah tanpa mempengaruhi ukuran benda kerja.

#### 4. Mampu Alir (*Flowability*)

Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak. Dapat digambarkan sebagai laju alir melalui suatu celah tertentu.

#### 5. Sifat kimia

Sifat kimia merupakan spesifikasi yang menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan prosentase kadar elemen lainnya.

#### 6. Mampu Tekan (Kompresibilitas)

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk semula sebelum ditekan dengan volum benda yang sudah ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir.



## 7. Berat Jenis Curah (*Apparent Density*)

Berat jenis curah atau berat jenis serbuk (*specific gravity*) dinyatakan dalam kilogram per meter kubik. Harga ini harus tetap, agar jumlah serbuk yang mengisi cetakan setiap waktunya tetap sama. Dalam penelitian kali ini menggunakan fraksi berat karena lebih mudah dalam pembuatan maupun perhitungan dari pada fraksi volume.

## 8. Kemampuan Sinter

Kemampuan material untuk dipanaskan mencapai suhu yang diinginkan tetapi tetap dijaga dibawah suhu titik lebur.

## 2.2 *Metal Matrix Composite (MMCs)*

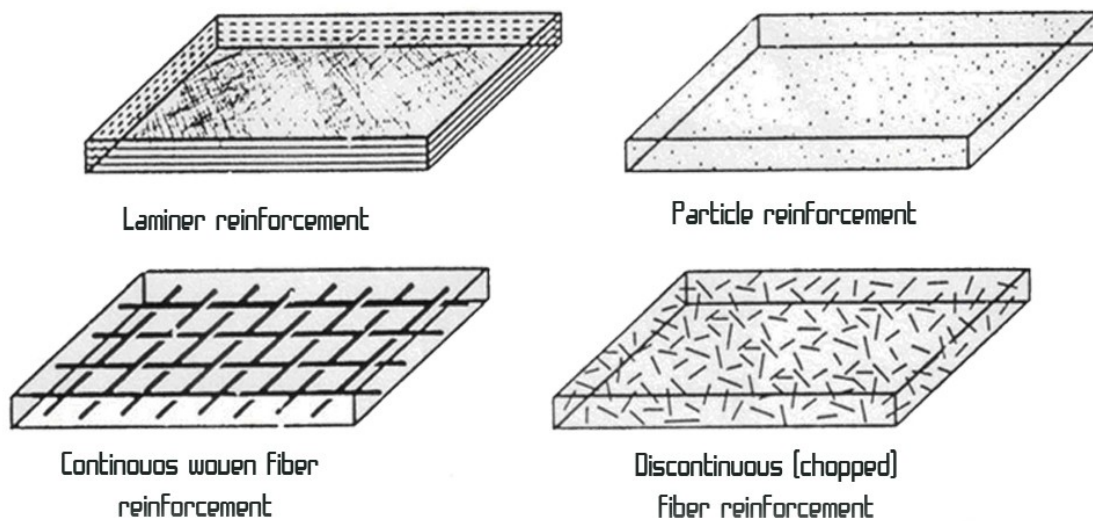
*Composite* adalah kombinasi antara dua atau lebih bahan yang memiliki sejumlah perbedaan karakteristik yang tidak saling melarutkan untuk mendapatkan sifat yang berbeda dari komponen pembentuknya dan material pembentuknya masih terlihat seperti aslinya. Dan *Metal Matrix Composite (MMCs)* itu sendiri adalah material baru yang terbentuk dari kombinasi rekayasa dua atau lebih bahan (salah satunya logam), dengan perwujudan aneka sifat hasil perpaduan material pembentuknya dengan perlakuan tertentu dan dilakukan secara kombinasi sistematis (Hartomo; 1992:1).

Keuntungan menggunakan material *Composite* adalah:

- ❖ Bobotnya yang ringan jika dibandingkan dengan material logam murni, tetapi memiliki kekuatan yang lebih tinggi (*strength to weight ratio*).
- ❖ Memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih baik.
- ❖ Modulus elastisitas yang tinggi. Hal ini dikarenakan dengan penambahan penguat pada MMCs maka kekerasan dan kekakuannya akan meningkat juga.
- ❖ Ekonomis karena dengan adanya penguat maka bisa mengurangi biaya penggunaan matriksnya.
- ❖ Umur pemakaian yang lebih lama.

(Sumber: Schwartz Mel M, 1997: 5)

Karakteristik komposit tergantung pada bahan matrik yang digunakan, bahan penguat, perbandingan antara matriks dan penguat (fraksi berat), serta metode penyusunan material komposit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Pravikananta, yuka ; 2006)



Gambar 2.2 Metode penyusunan material komposit

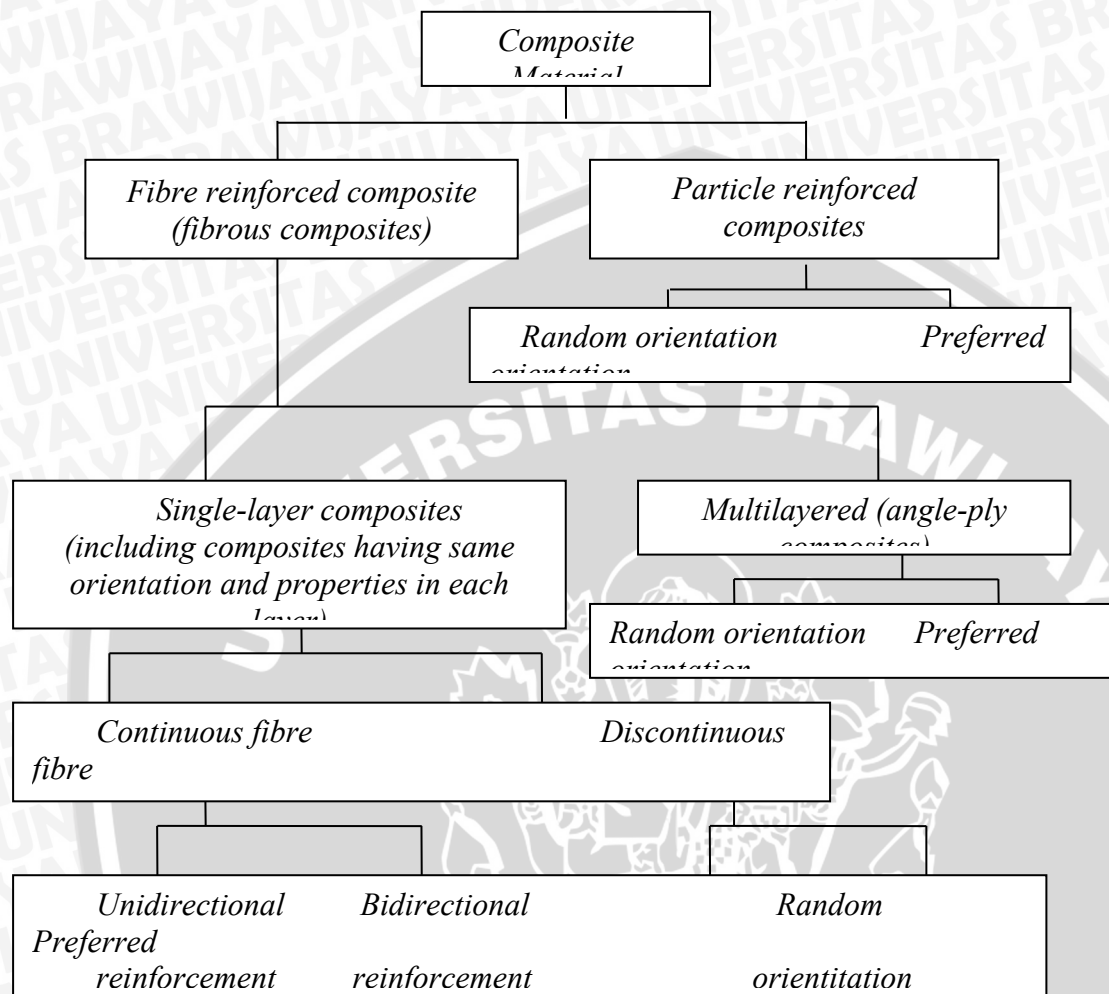
Sumber: Budinski, 1996: 121

## 2.3 Klasifikasi Komposit

Pada umumnya bahan penguat pada komposit dibagi menjadi dua yaitu penguat yang berbentuk partikel dan penguat yang berbentuk serat. Pada gambar 2.3 memperlihatkan skema pengelompokan material komposit dengan menggunakan rancangan berdasarkan jenis bahan penguat material komposit.

### 2.3.1 Komposit partikel (*Particulated Composite*)

Komposit jenis ini menggunakan penguat yang berbentuk partikel atau butiran. Bahan penguat yang berbentuk partikel umumnya memiliki ukuran yang hampir sama di segala arah. Bentuk dari penguat partikel dapat berupa spiral, kubik, pelat, bentuk yang teratur, ataupun bentuk-bentuk yang tidak teratur. Penyusunan bahan komposit dengan penguat partikel dapat berbentuk acak ataupun teratur dan karakter ini juga digunakan sebagai bagian dari skema pengelompokan material komposit dengan penguat yang berbentuk partikel. Komposit dengan penguat partikel biasanya mempunyai keuletan lebih lemah jika dibandingkan dengan komposit yang diperkuat serat, tetapi komposit dengan penguat partikel ini mempunyai ketahanan aus yang tinggi jika dibandingkan dengan komposit yang diperkuat dengan serat (Matthews and Rawlings, 1994 : 5).



Gambar 2.3 Klasifikasi material komposit  
 Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 7

### 2.3.2 Komposit Serat (*Fibre Reinforced Composites*)

Komposit jenis ini menggunakan penguat yang berbentuk serat, bahan penguat yang berbentuk serat ini dapat dikenali berdasarkan panjang serat. Perbandingan dari panjang serat dengan dimensi persilangannya (diameter) disebut dengan rasio. Komposit yang menggunakan serat yang panjang menggunakan aspek rasio lebih dari 1000 disebut dengan komposit yang diperkuat serat kontinu (*continous fibre reinforced composit*) dan komposit yang dibuat dengan menggunakan serat yang pendek disebut dengan komposit yang diperkuat serat tidak kontinu (*discontinous fibre reinforced composit*) (Matthews and Rawlings, 1994 : 5).

Dalam penyusunan serat pada komposit jenis ini dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

- a. Komposit dengan serat pendek tidak kontinu (*unidirectional discontinuous fibre, preferred*).
- b. Komposit dengan serat acak tidak kontinu (*discontinuous fibre, random*).
- c. Komposit dengan serat panjang yang disusun kontinu (*unidirectional continous fibre*).

#### **2.4 Komposit Matrik Logam Dengan Penguat Yang Tidak Kontinu**

Komposit matrik logam dengan penguat yang tidak kontinu sifatnya ditentukan oleh adanya partikel-partikel penguat yang tersebar merata pada logam pengikat. Karena penguatnya berbentuk partikel maka komposit matrik logam jenis ini mempunyai sifat isotropis (merupakan sebuah gaya dimana gaya tersebut diterima atau disebarkan merata diseluruh bagian) . Kekuatan dan kekakuan yang tinggi dari partikel penguat akan meningkatkan kekuatan dan kekakuan dari logam pengikat. Dengan penyebaran partikel secara acak maka penguat akan memperkuat matrik dimanapun arah gaya bekerja (Matthews and Rawlings, 1994 : 94).

#### **2.5 Proses Pembuatan Komposit Matrik Logam**

Saat ini proses pembuatan komposit matrik logam yang paling umum dipakai adalah dengan empat cara, yaitu (Matthews and Rawlings, 1994 : 179):

1. Pembuatan secara fasa padat.

Proses pembuatan fasa padat yaitu dengan mencampurkan pengikat dan penguat dalam keadaan padat dan kemudian ditekan dalam keadaan panas.

2. Pembuatan secara fasa cair.

Proses pembuatan fasa cair yaitu dengan mencampurkan pengikat yang telah dicairkan dengan penguat yang padat. Prosesnya dapat dilakukan dengan pengadukan manual dari pengikat ke dalam cetakan yang telah terisi padat.

3. Deposition.

Proses pembuatan deposition yaitu dengan menyemprotkan penguat pada pengikat yang telah cair. Pengikat tersebut disemprotkan sehingga terbentuk butir-butir cairan dan kemudian penguat juga disemprotkan ke butir-butir cairan tersebut, sehingga akan terbentuk campuran yang merata.

4. Dengan proses In Situ.

Proses pembuatan In Situ yaitu dengan mencampurkan pengikat padat dengan penguat, dengan menggunakan kumparan induksi yang bergerak pada tempat tertentu.

## 2.6 Teori Ikatan Penguat terhadap Komposit Matrik

Ketika matrik melekat pada penguat (*reinforcement*) maka terjadi ikatan antar permukaan. Ada sejumlah ikatan yang berbeda terbentuk, ikatan itu antara lain (Matthews and Rawlings, 1994 : 61):

### 1. Ikatan Mekanik (*Mechanical Bonding*)

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

### 2. Ikatan Elektrostatik (*Electrostatik Bonding*)

Ikatan ini terjadi antara matrik dan penguat ketika salah satu permukaan mempunyai muatan positif dan permukaan yang lain mempunyai muatan negatif. Sehingga akan terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.

### 3. Ikatan Kimia (*Chemical Bonding*)

Dalam ilmu komposit, ikatan kimia adalah ikatan yang terbentuk antara kelompok kimia pada permukaan penguat dan kelompok yang sesuai pada matrik. Sehingga kekuatan ikatannya tergantung pada jumlah ikatan perluasan dan tipe dari ikatan itu.

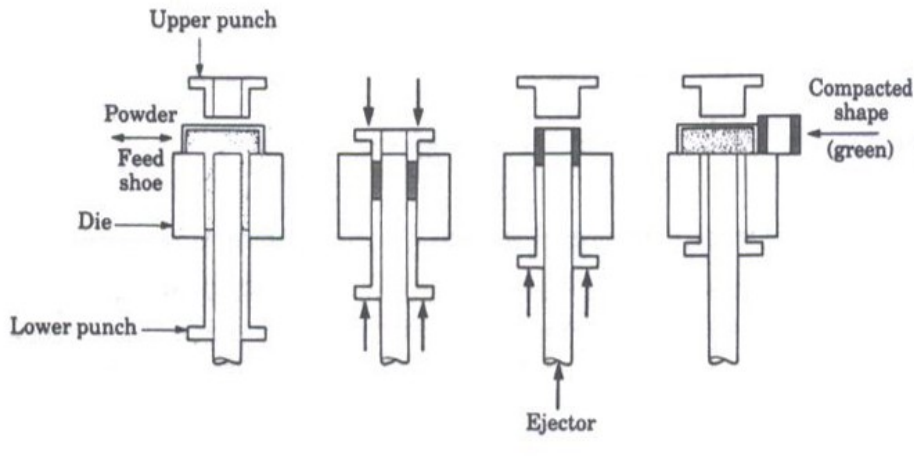
### 4. Ikatan Reaksi (*Reaction Bonding*)

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

## 2.7 Penekanan

Penekanan merupakan tahap dimana material pembentuk yang telah tercampur ditekan pada *dies* dengan bentuk sesuai keinginan, dimana proses penekanannya dilakukan dengan cara hidrolik, seperti terlihat pada Gambar 2.5. Tujuan dari penekanan ini adalah untuk

mendapatkan bentuk, *density*, meningkatkan kontak antar partikel serta untuk lebih memperkuat material untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 2.5 Proses penekanan  
 Sumber : Kalpakjian, 1991 : 694

Faktor lain yang mempengaruhi kerapatan adalah kehalusan ukuran butir, distribusi ukuran partikel, dan sangat dimungkinkan akan terbentuk celah antar partikel pada partikel yang ditekan. Tekanan yang diperlukan untuk menekan serbuk aluminium berkisar antara 70 MPa sampai dengan 275 MPa (Kalpakjian, 1991: 697). Hal ini dapat kita lihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Grafik penekanan untuk Aluminium

| COMPACTING PRESSURES FOR VARIOUS METAL POWDERS |                |
|--|----------------|
| METAL  | PRESSURE (MPa) |
| Aluminum                                       | 70–275         |
| Brass  | 400–700        |
| Bronze   | 200–275        |
| Iron   | 350–800        |
| Tantalum                                       | 70–140         |
| Tungsten                                       | 70–140         |
| OTHER MATERIALS                                |                |
| Aluminum oxide                                 | 110–140        |
| Carbon   | 140–165        |
| Cemented carbides                              | 140–400        |
| Ferrites                                       | 110–165        |

Sumber : Kalpakjian, 1991: 697

Proses penekanan berguna untuk membantu proses difusi. Proses penekanan juga perlu mempertimbangkan ukuran dan karakteristik serbuk, pelumasan yang dipakai serta material hasil yang diinginkan. Hal terpenting yang perlu diperhatikan adalah kecepatan



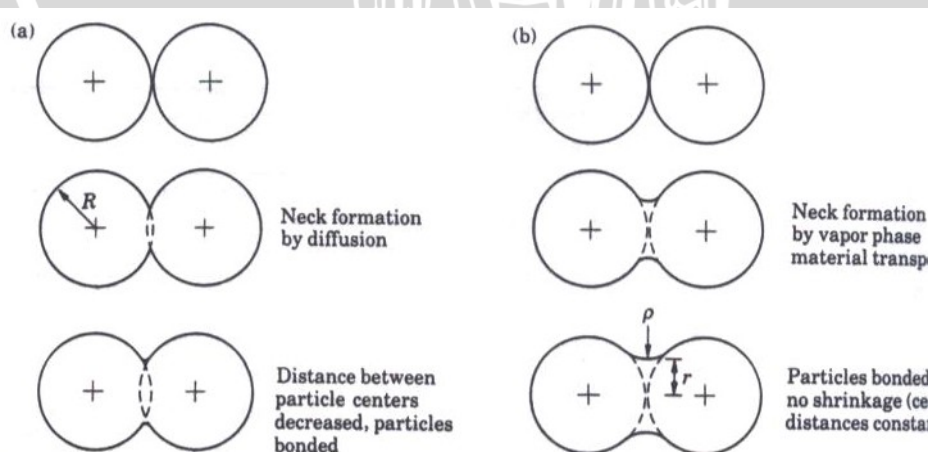
penekanan untuk menghindari adanya udara yang terjebak dalam partikel yang akan ditekan. Permukaan *die* dan penekan harus diberi pelumas supaya penekanan lebih efektif dan untuk lebih memperpanjang usia *dies* dan penekan (Pravikananta, yuka ; 2006).

## 2.8 Sintering

Penekanan seperti telah dijelaskan diatas merupakan dasar dari pembentukan *powder metallurgy process*, tetapi hasilnya kurang bagus jika tidak dilaksanakan bersamaan dengan proses *sintering*. *Sintering* menyediakan energi panas untuk proses penyatuan antar partikel. Perlakuan panas saat serbuk dibawah titik lebur bertujuan untuk meningkatkan kekuatannya dengan jalan penggabungan antar partikelnya. Untuk alur proses sintering dapat kita lihat pada Gambar 2.1

Sebelum disinter *green compact* bersifat rapuh dan kekuatannya rendah. Hal-hal utama yang harus diperhatikan pada proses *sintering* adalah temperatur, waktu *holding*, dan kondisi udara pada dapur. Temperatur *sintering* berkisar antara 70%-90% dari titik lebur dari logam. Kontrol udara yang tepat pada dapur sangat diperlukan untuk memperoleh produk hasil *sintering* yang baik. Biasanya kondisi dapur vakum digunakan untuk menghindari terjadinya proses oksidasi pada logam.

Suatu material lunak seperti Aluminium dapat diholding mulai 10 menit dan seterusnya sedangkan material yang keras seperti wolfram minimal 8 jam (Kalpakjian, 1991 : 510). Sintering dibagi menjadi dua seperti terlihat pada Gambar 2.6 yaitu :



Gambar 2.6 Proses difusi antar butir, (a) *hot pressing*  
 (b) *liquid-phase*

Sumber: Kalpakjian, 1991 : 702

- *Hot pressing*, adalah pengaplikasian dari temperatur dan tekanan yang diberikan pada serbuk tersebut, dimana temperturnya dijaga dibawah temperatur lebur. Pada proses ini kerapatan material hasil *hot pressing* dipengaruhi oleh lama penekanan, besarnya temperatur dan kehalusan butirnya. Teknik ini biasanya digunakan untuk material keramik dan logam yang keras, tetapi tidak untuk logam non besi. Biasanya cara ini hanya terjadi tahapan padat sehingga tidak ada peleburan atau tahapan cair.
- *Liquid phase*, adalah proses sintering dimana salah satu dari matriks atau penguatnya menjadi cair karena suhu yang tinggi selama proses sintering. Massa dari material lebih rendah yang berupa cairan akan mengalir memenuhi celah antar butir.

Dengan ukuran partikel yang ikut berpengaruh maka penyatuan antar batas butir berhubungan dengan perubahan penurunan ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel maka batas butir akan cepat menyatu dan memerlukan sedikit waktu *sintering*, atau memerlukan temperatur yang rendah.

Selain itu lingkungan sangat berpengaruh karena kebanyakan logam memerlukan perlindungan dari oksidasi selama *sintering*. Selama proses *sintering* terjadi perubahan dimensi, baik berupa pengembangan maupun penyusutan, tergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, tekanan dan prosedur *sinteringnya*.

## 2.9 Pencampuran (*Mixing*)

*Mixing* adalah proses pencampuran dua bahan untuk mendapatkan material dengan properti yang diinginkan. Proses ini dilakukan dengan tidak mengubah karakteristik sebenarnya dari bahan dan hendaknya memperhatikan homogenitas dari penguat dalam matrik. Pencampuran yang ideal adalah apabila partikel yang satu dengan yang lain terdistribusi secara merata. Proses ini akan menghasilkan material baru yang memiliki keunggulan dibanding bahan penyusunnya. Dalam hal ini pencampuran dilakukan dengan mencampurkan kedua bahan dan diaduk secara merata, baik menggunakan *mixer* atau tidak.

## 2.10 Material Pembentuk Komposit Matrik Logam

### 2.10.1 Matriks

Matriks adalah penyusun *Metal Matrix Composite* yang berfungsi sebagai pengikat dan diperkuat oleh penguat. Umumnya matriks mempunyai kekerasan lebih rendah dari pada penguatnya. Dalam hal ini matriks mempunyai fungsi :



1. Membantu mendistribusikan beban yang diterima oleh material.
2. Mengikat penguat agar tetap berada di dalam material.
3. Melindungi penguat dari kerusakan eksternal
4. Melindungi penguat dari keadaan lingkungan yang kurang baik.

Aluminium merupakan salah satu jenis logam *non ferrous* yang banyak ditemukan di alam dan merupakan logam yang banyak digunakan setelah besi. Material ini diproses dari bijih bauksit yang ada di alam berupa batu-batuan yang berwarna merah dan coklat. Disamping itu serbuk aluminium akan menyerap air, temperatur yang tinggi diperlukan untuk pemrosesannya. Aluminium mempunyai titik lebur antara 582-652°C

Kelebihan dari logam ini :

- Mempunyai *strength to weight ratio* yang lebih tinggi, hal ini akan menghasilkan konstruksi yang lebih ringan..
- Dapat dipadukan dengan logam lain untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik.
- Konduktivitas listrik dan panas yang tinggi
- Mudah untuk pengerjaan lanjut atau dibentuk
- Penampilannya yang menarik

Aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Contohnya jika dipadukan dengan magnesium maka kekerasannya akan meningkat hingga 86 BHN, Hasil dari pepaduan ini maka sifat-sifat aluminium murni akan berubah tergantung dari unsur pepadunya. Adapun sifat-sifat yang diinginkan dari aluminium paduan antara lain :

#### 1. Kekerasan

Dalam hal ini kekerasan aluminium murni adalah relatif rendah yaitu untuk 99,99% adalah 17 BHN. Selain itu kekerasan juga dapat ditingkatkan dengan proses perlakuan panas.

#### 2. Tegangan tarik

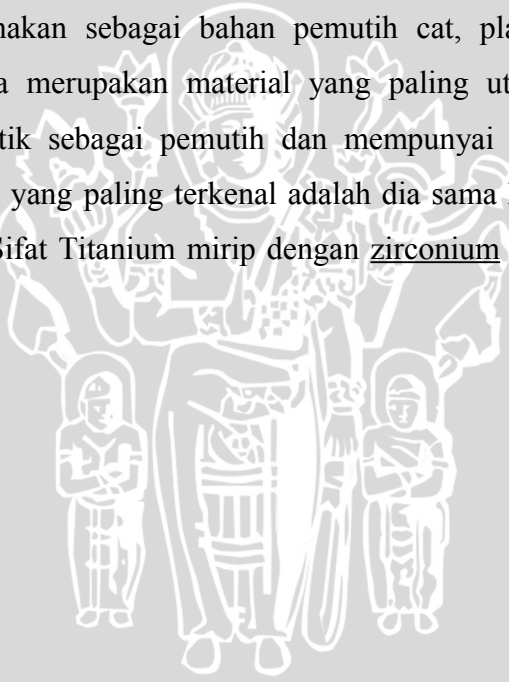
Tegangan tarik maksimum aluminium dengan kandungan 99,99% Al adalah 70 GPa (Van Vlack. L. H, 1984:624). Harga ini dapat ditingkatkan dengan memadukan unsur-unsur tertentu dan bisa juga dengan jalan pengerasan pemanasan.

### 2.10.2 Serbuk Titanium Dioksida Sebagai *Filler*

Bahan penguat adalah dari material pengisi yang berfungsi sebagai penguat dan untuk memperbaiki sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia, kemampuan pemrosesan, dan untuk mengurangi ongkos produksi dan kemudian akan digabungkan dengan matriknya yang berupa logam atau paduan untuk memproduksi MMCs, contoh bahan penguat antara lain alumina, silikon karbida, serat fiber. Penguat dibedakan dari ukuran dan dimensinya.

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol **Ti** dan nomor atom 22. Dia merupakan logam transisi yang ringan, kuat, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut dan chlorine) dengan warna putih-metalik-keperakan. Titanium digunakan dalam alloy kuat dan ringan (terutama dengan besi dan aluminium) dan merupakan senyawa terbanyaknya, titanium dioxide, digunakan dalam pigmen putih.

Unsur ini banyak digunakan sebagai bahan pemutih cat, plastik maupun kertas. Sekarang ini, titanium dioksida merupakan material yang paling utama digunakan oleh pabrik-pabrik dan industri plastik sebagai pemutih dan mempunyai sifat tembus cahaya. Salah satu karakteristik titanium yang paling terkenal adalah dia sama kuat dengan baja tapi hanya dengan 60% berat baja. Sifat Titanium mirip dengan zirconium secara kimia maupun fisika. (Swithers. F.S. : 2006).



**Table 2.3.** Typical physical and mechanical properties of titania.

|                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| Density                       | 4 gcm <sup>-3</sup>        |
| Porosity                      | 0%                         |
| Modulus of Rupture            | 140MPa                     |
| Compressive Strength          | 680MPa                     |
| Poisson's Ratio               | 0.27                       |
| Fracture Toughness            | 3.2 Mpa.m <sup>-1/2</sup>  |
| Shear Modulus                 | 90GPa                      |
| Modulus of Elasticity         | 230GPa                     |
| Microhardness (HV0.5)         | 880                        |
| Resistivity (25°C)            | 10 <sup>12</sup> ohm.cm    |
| Resistivity (700°C)           | 2.5x10 <sup>4</sup> ohm.cm |
| Dielectric Constant (1MHz)    | 85                         |
| Dissipation factor (1MHz)     | 5x10 <sup>-4</sup>         |
| Dielectric strength           | 4 kVmm <sup>-1</sup>       |
| Thermal expansion (RT-1000°C) | 9 x 10 <sup>-6</sup>       |
| Thermal Conductivity (25°C)   | 11.7 WmK <sup>-1</sup>     |

Sumber : Swithers. F.S. : 2006

## 2.11 Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik logam yang berupa kemampuan untuk menahan goresan, deformasi plastis dan pembebanan dinamis. Kekerasan juga menunjukkan ketahanan pemakaian dan abrasi (*wear and abration resistance*) dari material tersebut. Suatu material yang terkena beban yang dikenakan pada material itu secara terus-menerus akan menimbulkan deformasi yang akhirnya akan berujung pada keretakan dan perpatahan.

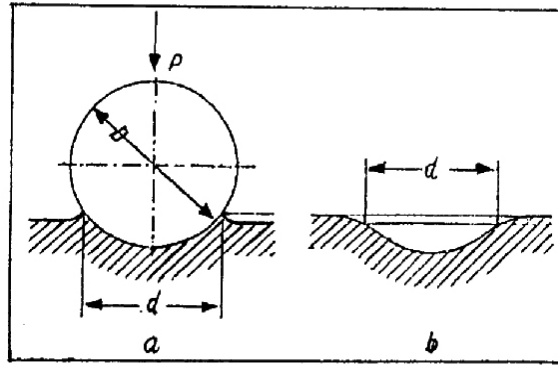
Metode yang digunakan untuk mengetahui harga kekerasan pada pengujian ini dilakukan pada jenis pengujian Brinell, dengan kekerasan dapat diperkirakan kekuatan dari material tersebut.

Kekerasan material dapat diuji dengan beberapa metode pengujian kekerasan, yaitu :

1. Metode pengujian kekerasan dengan goresan (*Scratch Hardness*) yaitu dengan cara Moh's.
2. Metode pengujian kekerasan dengan penekanan (*Indention Hardness*) yaitu dengan cara Brinell, Vickers dan Rockwell.

Pengujian Brinell adalah salah satu pengujian yang paling banyak digunakan. Pada pengujian Brinell digunakan bola baja yang dikeraskan, bola baja digunakan sebagai

indenter. Indentor ini ditusukkan ke permukaan logam yang diuji dengan gaya tekan tertentu selama waktu tertentu pula (antara 10 detik sampai 30 detik). Karena penusukan tersebut maka permukaan logam akan terjadi tembereng bola.



Gambar 2.7 Brinell test  
Sumber : Diktat Pengujian Logam : 5

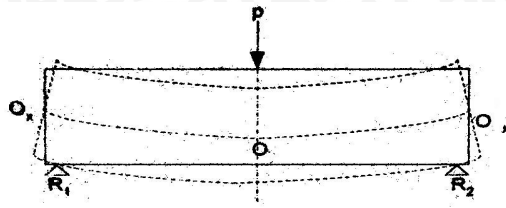
3. Pengujian dengan pantulan, yaitu dengan cara *Shorescleroscope*.

### 2.12 *Bending Strength*

Pengujian *bending* dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan lentur suatu bahan sehingga akan didapatkan sebuah kekuatan suatu material, karena pada pengujian *bending* dapat diharapkan terjadi lendutan, sehingga dari lendutan yang ideal tersebut dapat diketahui kekuatan yang lebih akurat dari material yang di uji.

Prosedur uji bending

- Memasang spesimen uji pada alat menguji setelah diberi tanda jarak untuk menghitung regangan.
- Spesimen siap dilakukan pengujian dengan memberikan gaya tekan sampai Spesimen uji bengkok mencapai sudut yang telah ditentukan.
- Memeriksa hasil bengkokan apakah ada cacat (retak) atau tidak.
- Mencatat panjang spesimen uji setelah proses pembengkokan untuk mengetahui besar regangan *bending*.



Gambar 2.8 Pengujian lentur

Sumber : Shinroku 1984:183

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 diatas, kalau batang uji ditumpu pada  $R_1$  dan  $R_2$  dan beban tekuk (P) diberikan di tengah adalah:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

- P : Beban tekuk
- b : Lebar batang uji
- d : Tebal batang uji
- L : Jarak antara titik tumpu

**2.13 Hipotesis**

Penekanan dan fraksi berat serbuk titanium dioksida dapat mempengaruhi kekerasan dan kekuatan *bending* komposit aluminium. Dengan semakin meningkatnya penekanan dan fraksi berat maka kekerasan dan kekuatan *bending* akan meningkat karena kondisi dari serbuk menjadi lebih mampat dari komposit aluminium tersebut, ini dikarenakan serbuk titanium dioksida merupakan partikel yang keras, ulet dan ringan.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*). Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan data-data langsung melalui eksperimen dengan prosedur-prosedur yang sudah didapat dalam studi literatur, kemudian dianalisis dan ditarik suatu kesimpulan. Metode ini menggunakan model analisa varian dua arah (Rancangan Acak Kelompok) dengan interaksi.

### 3.2 Variabel Penelitian

#### a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah :

- Fraksi Berat (%) yang digunakan adalah (0 :100), (2:98), (4:96), (6:94), (8:92).
- Variasi tekanan yang digunakan adalah 350 bar dan 400 bar.

#### b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah

1. Kekerasan
2. Kekuatan *bending*

#### c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya selalu dijaga untuk mendukung proses penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah

- Temperatur yang digunakan 500 °C.
- *Holding time* 30 menit

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2007 sampai dengan selesai. Tempat yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini adalah

- Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.
- Laboratorium Proses produksi I Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.

- Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Mesin Politeknik Negeri Malang.

### 3.4 Bahan dan Alat yang Digunakan

#### 3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Aluminium Serbuk.
- Serbuk Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ).

#### 3.4.2 Alat-alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Mesin uji kekerasan

*Electrical Brinell Hardness Tester*

- Merk : Hauser Henry S. A.
- Diameter bola baja : 1,2 mm
- Berat beban : 12,48 kg
- Buatan : Jerman

- Mesin pengujian *Bending*

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

- Cetakan spesimen

Mesin *Hydraulic press*

Merk : Nagasaki jack co.,LTD japan

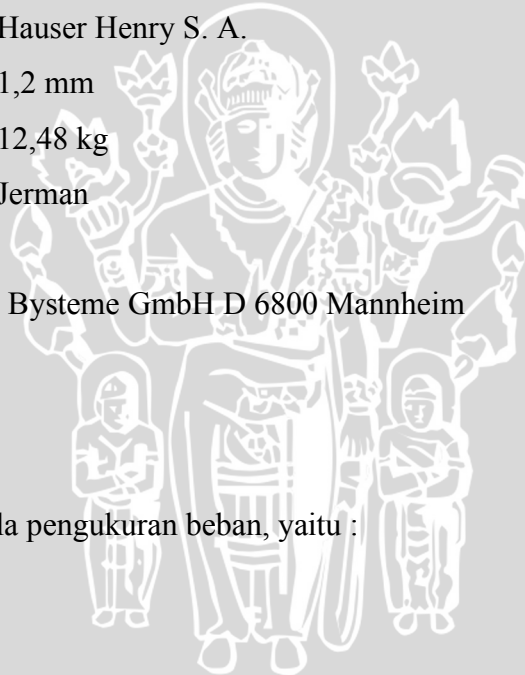
Type : NSP-15

Kapasitas : 15 ton

- Timbangan digital

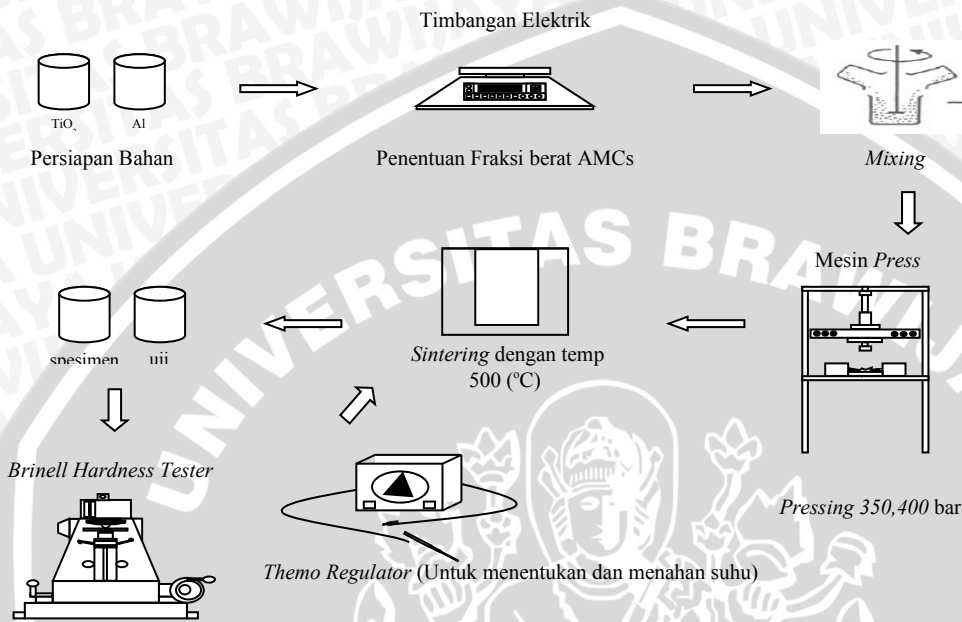
- Blender

- Kertas gosok



- g. Jangka sorong
- h. Dapur pemanas

### 3.5 Prosedur Penelitian



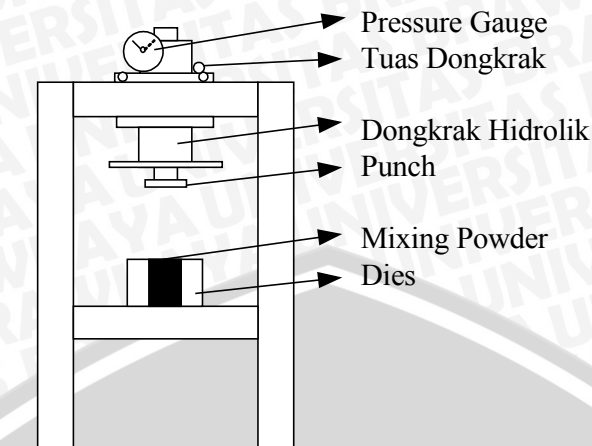
Gambar 3.1 Langkah pembuatan spesimen

Sumber : Pravikananta, yuka ; 2006: 23

Langkah-langkah pembuatan spesimen bahan komposit pada penelitian ini adalah

- a. Persiapan *filler* dan matrik ditujukan untuk mendapatkan serbuk titanium dioksida dan serbuk aluminium dengan ukuran yang beragam. Makin halus serbuk titanium dioksida dan serbuk aluminium semakin besar kontak permukaan antara *filler* dengan matriknya, sehingga produk menjadi lebih homogen. Serbuk titanium dioksida dan serbuk aluminium diayak dengan mesin ayak rotab dengan ukuran 38  $\mu\text{m}$  dan 63  $\mu\text{m}$  untuk mendapatkan ukuran butir.
- b. Persiapan serbuk karbon dan serbuk aluminium sesuai dengan perbandingan fraksi berat (%) : (0 :100), (2:98), (4:96), (6:94), (8:92).





Gambar 3.2. : Alat *Pressing*

- c. Pencampuran serbuk Titanium Dioksida dan serbuk aluminium sesuai dengan fraksi berat yang dibuat kemudian diaduk dengan blender dengan waktu masing 10 menit.
- d. Campuran yang sudah diaduk merata diletakkan pada cetakan untuk persiapan penekanan (pembentukan) dengan variasi penekanan yang sudah ditentukan.
- e. Apabila sudah mencapai tekanan yang diinginkan maka cetakan diangkat untuk ditempatkan pada dapur pemanas dengan temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  dan waktu *holding* 30 menit untuk masing-masing spesimen.
- f. Setelah pemanasan selesai maka spesimen dikeluarkan dari dapur pemanas. Apabila sudah selesai maka dilakukan proses mulai dari awal lagi untuk membuat spesimen sesuai dengan jumlah dan variasi yang diinginkan.
- g. Melakukan foto makro untuk mencari data pendukung.
- h. Pengambilan data spesimen dengan uji kekerasan dan uji *bending*.
- i. Pengolahan data.
- j. Pembahasan data yaitu membahas data hasil dari uji kekerasan dan uji *bending* yang diperoleh terhadap variasi penekanan dan fraksi berat serbuk Titanium Dioksida pada komposit aluminium.
- k. Kesimpulan.

### 3.6 Metode Pengujian

#### 3.6.1 Metode Pengujian Kekuatan *Bending*

Spesimen pengujian tekuk dibuat dengan proses *sintering* pada cetakan yang telah disiapkan sesuai dengan JIS Z2204. Proses dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing

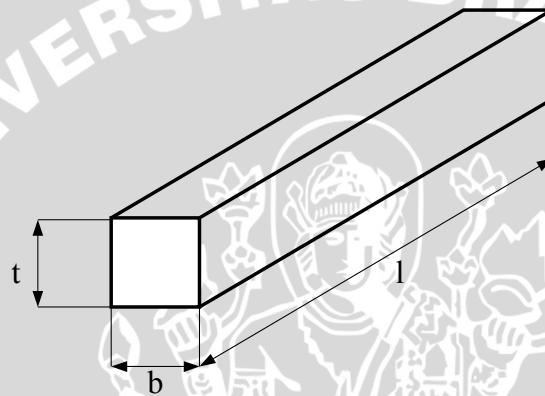
komposisi fraksi berat. Pada pengujian *bending*, spesimen ditempatkan pada alat uji kemudian diberi beban pada bagian tengah penampang spesimen.

### 3.6.2 Dimensi spesimen

Dimensi spesimen pada pengujian kekuatan *bending* dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Dimensi spesimen pengujian kekuatan *bending*

| <i>Length (l)</i> | <i>Width (b)</i> | <i>Thickness (t)</i> |
|-------------------|------------------|----------------------|
| (mm)              | (mm)             | (mm)                 |
| 50                | 7                | 8                    |



Gambar 3.3 Spesimen Pengujian Kekuatan *Bending*

Sumber : Rusianto, Toto; 2005

### 3.6.3 Metode Pengujian kekerasan

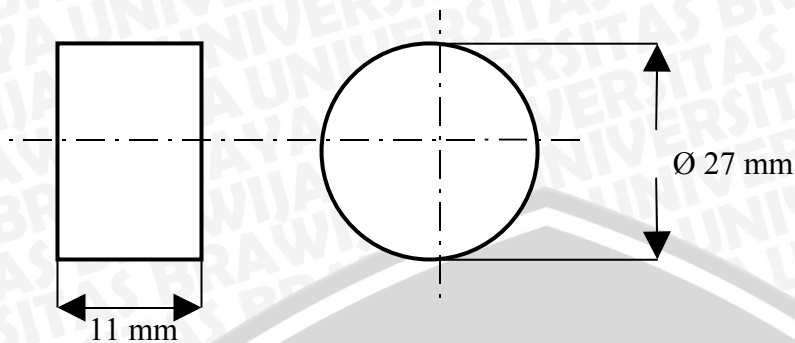
Spesimen uji kekerasan dibuat dengan ukuran diameter 27 mm dan tebal 11 mm pada masing-masing komposisi. Kemudian dilakukan pengujian spesimen dengan mesin uji kekerasan, *Electrical Brinell Hardness Number* sebanyak 3 kali ulangan untuk masing-masing komposisi.

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Permukaan spesimen yang akan diuji dibersihkan dari kotoran dengan *Centrifugal Sand Paper* hingga betul-betul halus dan rata.
2. Pemasangan spesimen pada *Brinell Hardness Tester*.

Dilakukan pengujian kekerasan untuk mendapatkan data kekerasan permukaan

Bentuk spesimen uji kekerasan yang akan dibuat seperti Gambar 3.4 dibawah



Gambar 3.4. Spesimen uji kekerasan.

Sumber : Pravikananta, yuka ; 2006: 24

3. masing-masing spesimen.

### 3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan mencari pengaruh dari dua faktor yaitu fraksi berat dan tekanan terhadap kekuatan mekanik pada proses pembuatan komposit aluminium.

### 3.8 Analisis Statistik

Di dalam pengolahan data untuk analisis statistik digunakan Analisis Varian Dua Arah. Dari analisis varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh fraksi berat (factor A) dan tekanan (factor B) serta pengaruh interaksi antara keduanya (factor AB) terhadap kekerasan dan kekuatan *bending* pada komposit aluminium.

Dan untuk hipotesa dari penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut :

$H_0^1$  :  $A_1 = A_2 = A_3 = A_i$ , factor A (fraksi berat tidak berpengaruh terhadap kekuatan)

$H_1^1$  :  $A_1 \neq A_2 \neq A_3 \neq A_i$ , factor A (fraksi berat berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan *bending*)

$H_0^2$  :  $B_1 = B_2 = B_3 = B_i$ , factor B (tekanan tidak berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan *bending*)

$H_1^2$  :  $B_1 \neq B_2 \neq B_3 \neq B_i$ , factor B (tekanan berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan *bending*)

$H_0^3$  :  $(AB)_{11} = (AB)_{12} = (AB)_{13} = (AB)_{ij}$ , factor A dan B (fraksi berat dan tekanan tidak berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan *bending*)

$H_1^3$  :  $(AB)_{11} \neq (AB)_{12} \neq (AB)_{13} \neq (AB)_{ij}$ , factor A dan B (fraksi berat dan tekanan berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan *bending*)

Tabel 3.2 Hasil pengujian dengan lebih dari satu kali pengamatan

| Faktor         | B     |                  |                  | Σ baris          | rata-rata        |                  |
|----------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| A              | level | B <sub>1</sub>   | B <sub>j</sub>   |                  |                  | B <sub>c</sub>   |
| A <sub>1</sub> |       | Y <sub>111</sub> | Y <sub>1j1</sub> | Y <sub>1c1</sub> | T <sub>1..</sub> | Y <sub>1..</sub> |
|                |       | Y <sub>112</sub> | Y <sub>1j2</sub> | Y <sub>1c2</sub> |                  |                  |
|                |       | ...              | ...              | ...              |                  |                  |
| A <sub>i</sub> |       | Y <sub>11t</sub> | Y <sub>1jt</sub> | Y <sub>1ct</sub> | T <sub>i..</sub> | Y <sub>i..</sub> |
|                |       | Y <sub>i11</sub> | Y <sub>ij1</sub> | Y <sub>ic1</sub> |                  |                  |
|                |       | Y <sub>i12</sub> | Y <sub>ij2</sub> | Y <sub>ic2</sub> |                  |                  |
| A <sub>r</sub> |       | ...              | ...              | ...              | T <sub>r..</sub> | Y <sub>r..</sub> |
|                |       | Y <sub>rit</sub> | Y <sub>ijt</sub> | Y <sub>ict</sub> |                  |                  |
|                |       | Y <sub>r11</sub> | Y <sub>rj1</sub> | Y <sub>rc1</sub> |                  |                  |
| Σ baris        |       | Y <sub>r12</sub> | Y <sub>rj2</sub> | Y <sub>rc2</sub> | T <sub>r..</sub> | Y <sub>r..</sub> |
|                |       | ...              | ...              | ...              |                  |                  |
|                |       | Y <sub>r1t</sub> | Y <sub>rjt</sub> | Y <sub>rc1</sub> |                  |                  |
| Σ baris        |       | T <sub>1..</sub> | T <sub>j.</sub>  | T <sub>c.</sub>  | T                |                  |
| rata-rata      |       | Y <sub>1.</sub>  | Y <sub>j.</sub>  | Y <sub>c.</sub>  |                  | Y                |

Untuk perhitungan maka dipakai rumus-rumus antara lain (Y, Suntoyo. 1993 :68-69) :

1. Faktor korelasi (FK)

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t y_{ijk}}{rct} \dots\dots\dots(3.1)$$

2. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t y_{ijk}^2 - FK \dots\dots\dots(3.2)$$

3. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - FK \dots\dots\dots(3.3)$$

4. Jumlah Kuadrat Pengaruh A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - FK \dots\dots\dots(3.4)$$

5. Jumlah Kuadrat Pengaruh B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^{rc} T_j^2}{rc} - FK \dots\dots\dots(3.5)$$

6. Jumlah Kuadrat Pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \dots\dots\dots(3.6)$$

7. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \dots\dots\dots(3.7)$$

Kesimpulan yang didapat dari uji F ini sebagai berikut :

1. Bila  $F_A \text{ hitung} > F_{A \text{ table}}$ , maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima. Berarti faktor A (fraksi berat) berpengaruh terhadap kekuatan mekanik.
2. Bila  $F_B \text{ hitung} > F_{B \text{ table}}$ , maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima. Berarti faktor B (variasi tekanan) berpengaruh terhadap kekuatan mekanik.
3. Bila  $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ table}}$ , maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima. Berarti interaksi faktor A (fraksi berat) dan faktor B (variasi tekanan) berpengaruh terhadap kekuatan mekanik.

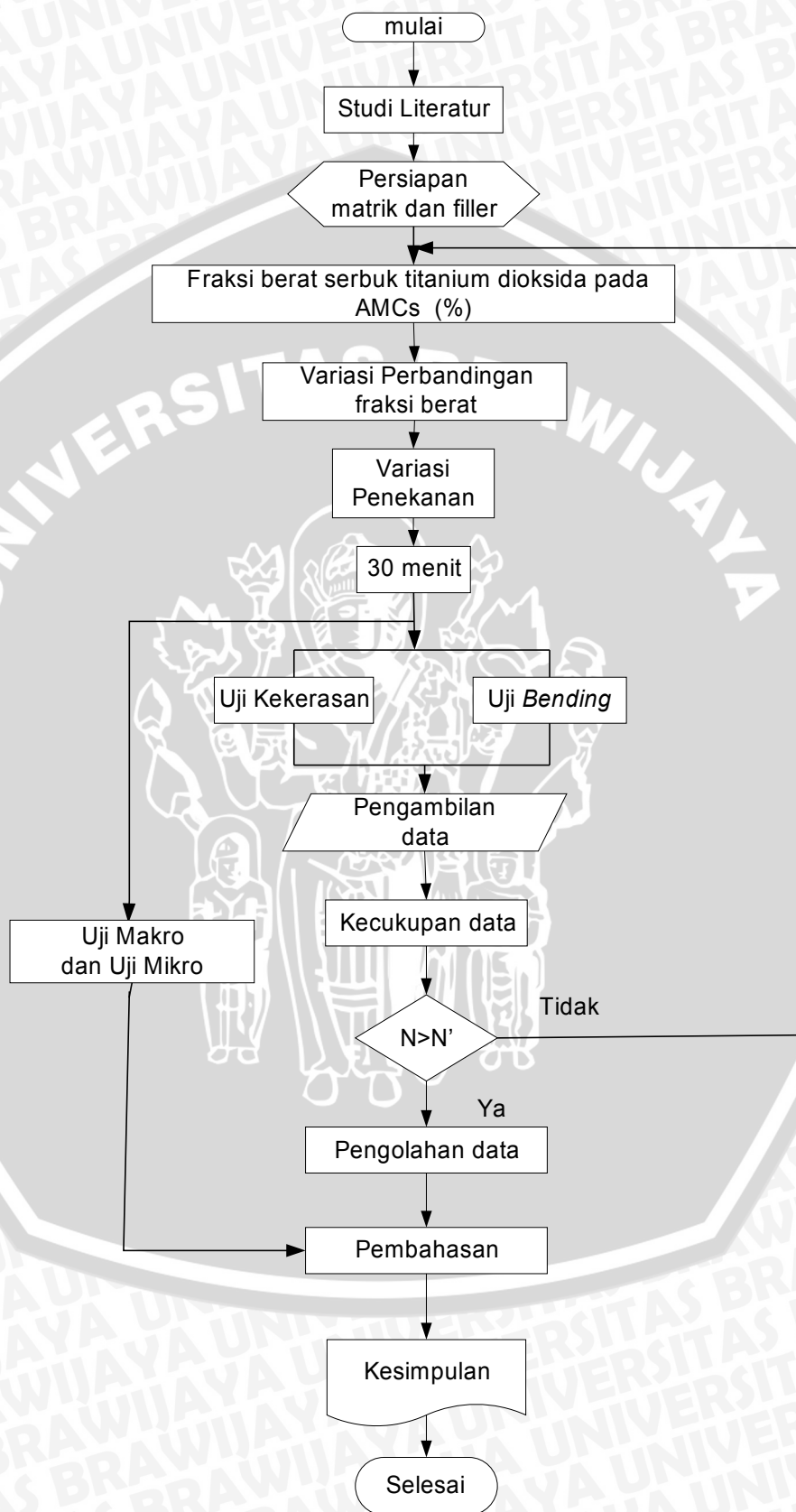
Hasil perhitungan dalam analisis varian dua arah dengan interaksi dapat diringkaskan seperti tabel 3.3:

Tabel 3.3 Analisis varian dua arah

| Sumber keragaman  | Db         | JK   | Varian (KT)               | $F_{\text{hitung}}$    |
|-------------------|------------|------|---------------------------|------------------------|
| Pengaruh A        | r-1        | JKA  | $\frac{JKA}{r-1}$         | $\frac{S_A^2}{S^2}$    |
| Pengaruh B        | c-1        | JKB  | $\frac{JKB}{c-1}$         | $\frac{S_B^2}{S^2}$    |
| Interaksi A dan B | (r-1)(c-1) | JKAB | $\frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$ | $\frac{S_{AB}^2}{S^2}$ |
| Galat             | rc(n-1)    | JKG  | $\frac{JKG}{rc(r-1)}$     |                        |
| Total             | rcn-1      | JKT  |                           |                        |



3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5. Diagram alir penelitian

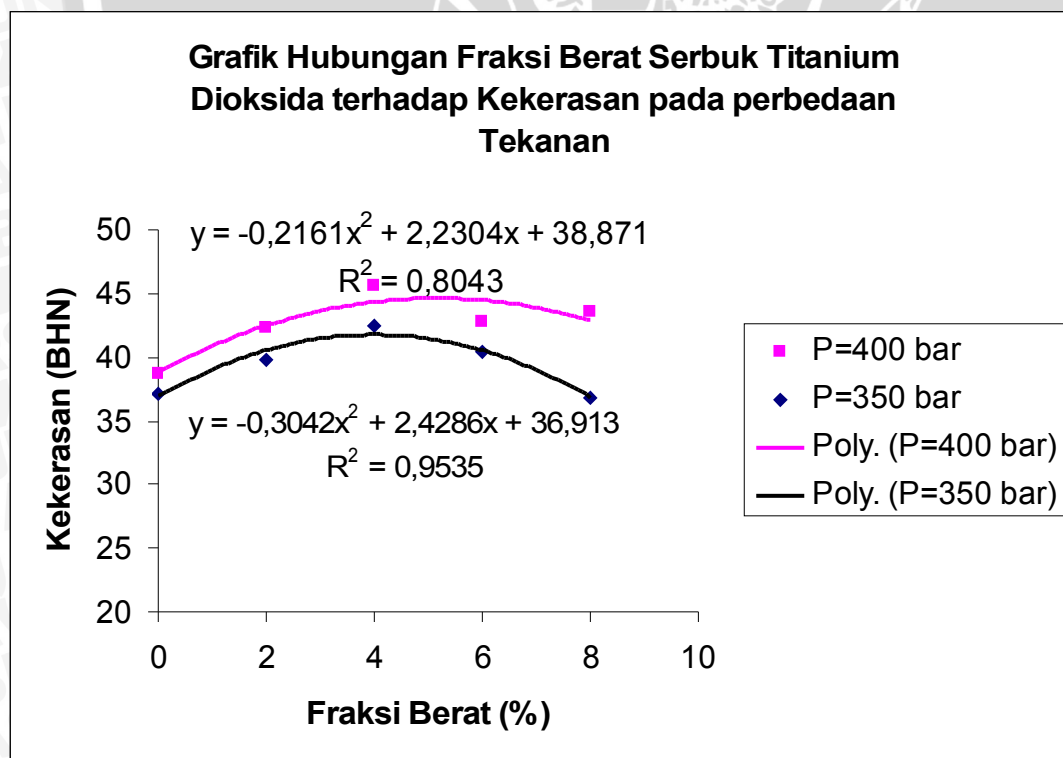
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil dan Pembahasan

#### 4.1.1. Pengaruh Fraksi Berat terhadap Kekerasan

Tabel 4.1 : Data Hasil Pengujian Kekerasan (BHN)

|  | Tekanan ( bar ) | Fraksi Berat(%) | Data kekerasan ( BHN ) |      |      | Jumlah | Rata - rata | Jumlah Total |
|--|-----------------|-----------------|------------------------|------|------|--------|-------------|--------------|
|  |                 |                 | 1                      | 2    | 3    |        |             |              |
|  | 350             | 0               | 37,8                   | 37,4 | 36,7 | 111,5  | 37,166      |              |
|  |                 | 2               | 41,6                   | 38,6 | 39,3 | 119,5  | 39,833      |              |
|  |                 | 4               | 43,2                   | 42   | 42   | 127,2  | 42,4        |              |
|  |                 | 6               | 40,4                   | 40   | 40,8 | 121,2  | 40,4        |              |
|  |                 | 8               | 36,4                   | 37,6 | 36,5 | 110,5  | 36,833      | 589,9        |
|  | 400             | 0               | 39,5                   | 38,5 | 38,1 | 116,1  | 38,7        |              |
|  |                 | 2               | 40,6                   | 43,2 | 43,3 | 127,1  | 42,367      |              |
|  |                 | 4               | 47,7                   | 45,6 | 43,7 | 137    | 45,667      |              |
|  |                 | 6               | 45,2                   | 41,6 | 41,6 | 128,4  | 42,8        |              |
|  |                 | 8               | 43,8                   | 43,1 | 43,6 | 130,5  | 43,5        | 639,1        |



Gambar 4.1 Pengaruh Fraksi Berat terhadap Kekerasan

Pembahasan Hubungan antara Fraksi Berat dan Penekanan Serbuk Titanium Dioksida dengan kekerasan AMCs

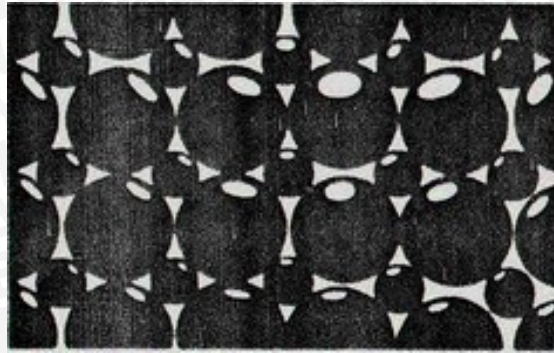
Dari gambar 4.1 dapat diketahui hubungan fraksi berat serbuk titanium dioksida terhadap kekerasan pada variasi tekanan, sehingga untuk tekanan yang tinggi memiliki kekerasan yang tinggi dibanding tekanan rendah. Dari data yang diperoleh, pada tekanan 400 bar memiliki kekerasan sebesar 45,667 BHN pada fraksi berat 4% dan terendah pada fraksi berat 0% dengan kekerasan sebesar 38.7 BHN. Sedangkan tekanan 350 bar memiliki kekerasan sebesar 42,4 BHN pada fraksi berat 4% dan terendah pada fraksi berat 8% dengan kekerasan sebesar 36,833 BHN. Akan tetapi dari gambar diatas terlihat bahwa terjadi kecenderungan naik kemudian menurun pada kondisi fraksi berat tertentu, yaitu pada tekanan 400 bar kecenderungan menurun pada fraksi berat 4%, kemudian untuk tekanan 350 bar kecenderungan menurun pada fraksi berat 4% juga pada masing-masing variasi tekanan dan fraksi berat yang digunakan.

Karakteristik utama pengerasan MMCs yangt diproses dengan menggunakan *powder metallurgy* terletak pada partikel penguat yang ditambahkan dan terkunci didalam matrik yang lunak. Pengerasan yang disebabkan oleh penambahan partikel penguat diatas disebut dengan pengerasan dispersi (Agrawal, 1989: 59).

Partikel ini penguat yang ditambahkan dan tersebar dalam matrik merupakan sumber pengerasan (Dieter, 1988: 213). Jenis, ukuran, fraksi volume, dan distribusi partikel penguat merupakan factor penentu dalam pengerasan dispersi (Agrawal, 1989: 59). Pemilihan jenis penguat yang memiliki properti yang jauh lebih tinggi dari pada matriknya akan memperbaiki sifat mekanik komposit yang dihasilkan. Hal ini dikarnakan adanya kemampuan yang tinggi dari penguat tersebut untuk menahan pergerakan dislokasi yang terjadi.

Dalam proses *powder metallurgy*, penekanan yang dilakukan akan menyebabkan partikel penguat dan matrik bergerak mengisi rongga kosong dalam campuran sehingga kerapatan (*density*) campuran akan meningkat. Penggunaan ukuran partikel penguat yang lebih kecil memungkinkan partikel tersebut mengisi rongga kosong disekitar partikel matrik (Avner, 1974: 612). Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3. dibawah ini. Dengan menggunakan partikel penguat dengan ukuran yang lebih kecil maka rongga kosong disekitar partikel pengikat akan berkurang, sehingga kerapatan dari *green compact* yang dihasilkan akan meningkat.



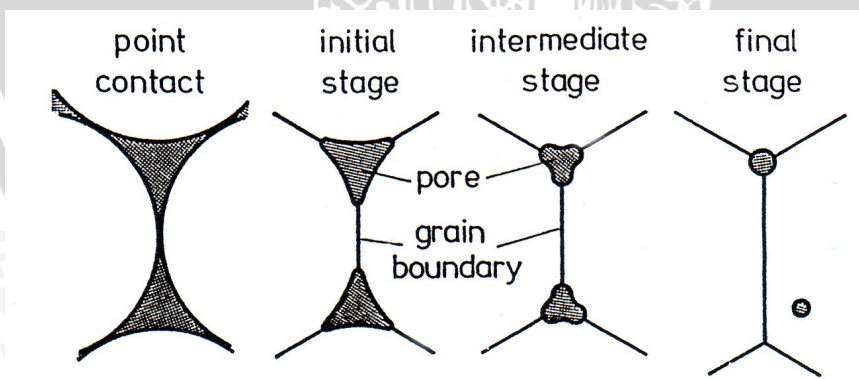


Gambar 4.2. Partikel kecil mengisi rongga antara partikel besar

Sumber : Avner, 1974: 612

Kerapatan campuran yang tinggi akan menyebabkan garis singgung antar permukaan partikel bertambah besar. Hal ini mengakibatkan permukaan kontak antar partikel semakin luas, sehingga kekuatan dan kekerasan campuran akan meningkat.

Dalam proses *sintering* ini juga akan menghasilkan kerapatan yang tinggi, sebagai akibat dari pertumbuhan batas butir selama pemanasan. Seperti pada gambar 4.4. dibawah ini. Dalam gambar tersebut juga dapat dilihat adanya rongga antar partikel yang semakin mengecil seiring terjadinya pertumbuhan batas butir. Dengan penambahan partikel penguat dengan ukuran yang lebih kecil, maka rongga yang ada akan terisi oleh penguat tersebut seiring dilakukannya penekanan. Hal ini mengakibatkan terbentuknya kerapatan antar partikel yang tinggi.



Gambar 4.3. Pertumbuhan batas butir antar partikel pada proses *sintering*

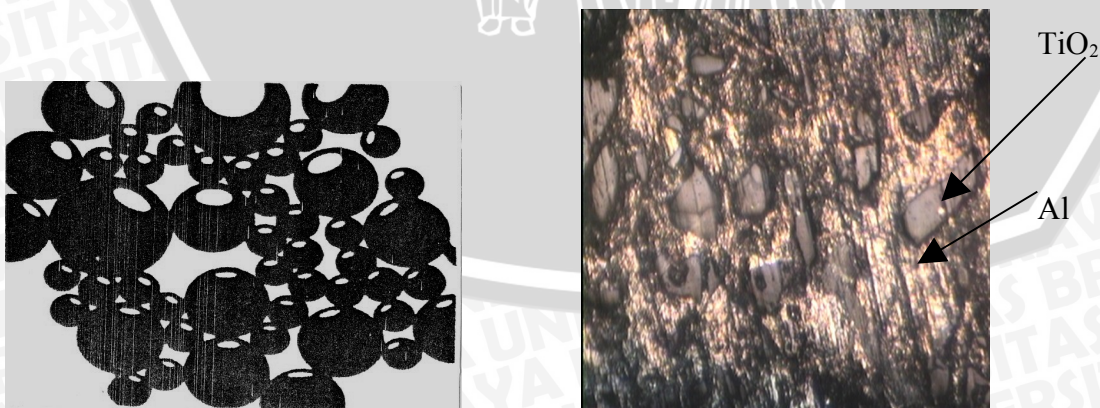
Sumber : german, 1994: 261

Pada dasarnya penguatan pada komposit termasuk AMCs terjadi jika adanya ikatan yang kuat antar partikel matrik dan penguat (Dieter, 1988: 210). Dalam hal ini peran matrik sebagai bahan pengikat penguat sangat penting keberadaannya. Adanya proses *sintering* pada

temperatur 500°C akan membuat permukaan partikel matrik akan menjalin ikatan dengan matrik lainnya yang bersebelahan. Hal ini akan mengunci partikel penguat yang memiliki titik lebur yang lebih tinggi dari pada matrik yang digunakan. Mekanisme ini banyak dipengaruhi oleh fraksi berat yang digunakan. Dengan pemakaian fraksi berat yang tepat maka akan didapatkan komposit dengan sifat mekanik yang optimum.

Tidak semua penambahan partikel penguat dalam matrik akan dapat menghasilkan penguatan (Dieter, 1988: 200). Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.1. dan tabel 4.1. diatas, dimana penambahan fraksi berat penguat  $\text{TiO}_2$  untuk penekanan 400 bar, dari 4% hingga 8% akan mengakibatkan terjadinya penurunan kekerasan AMCs pada rentang 45,667 sampai 43,5 BHN. Dan untuk penekanan 350 bar, dari 4% hingga 8% akan mengakibatkan terjadinya penurunan kekerasan AMCs pada rentang 42,4 sampai 36,833 BHN. Penurunan ini disebabkan karena tidak adanya perbandingan komposisi yang tepat dan seimbang antara matrik dan penguat. Peningkatan prosentase fraksi berat  $\text{TiO}_2$  akan mengakibatkan semakin sedikitnya jumlah matrik Al yang mengikat penguat. Dengan adanya penguatan yang berlebih tersebut, maka daya ikat batas partikel matrik terhadap penguat akan berkurang.

Selain itu penambahan fraksi berat  $\text{TiO}_2$  yang terlalu berlebihan akan menyebabkan terjadinya efek *bridging* dimana partikel penguat tersebut akan menghalangi permukaan kontak antar matrik. Pada efek ini penguat akan cenderung terkumpul pada permukaan batas butir, dan menghalangi pengikatan antar partikel matrik sehingga akan menimbulkan rongga yang semakin banyak. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5. dibawah ini. Hal ini mengakibatkan kerapatan yang terjadi semakin berkurang, sehingga kekerasan yang dihasilkan akan menurun.



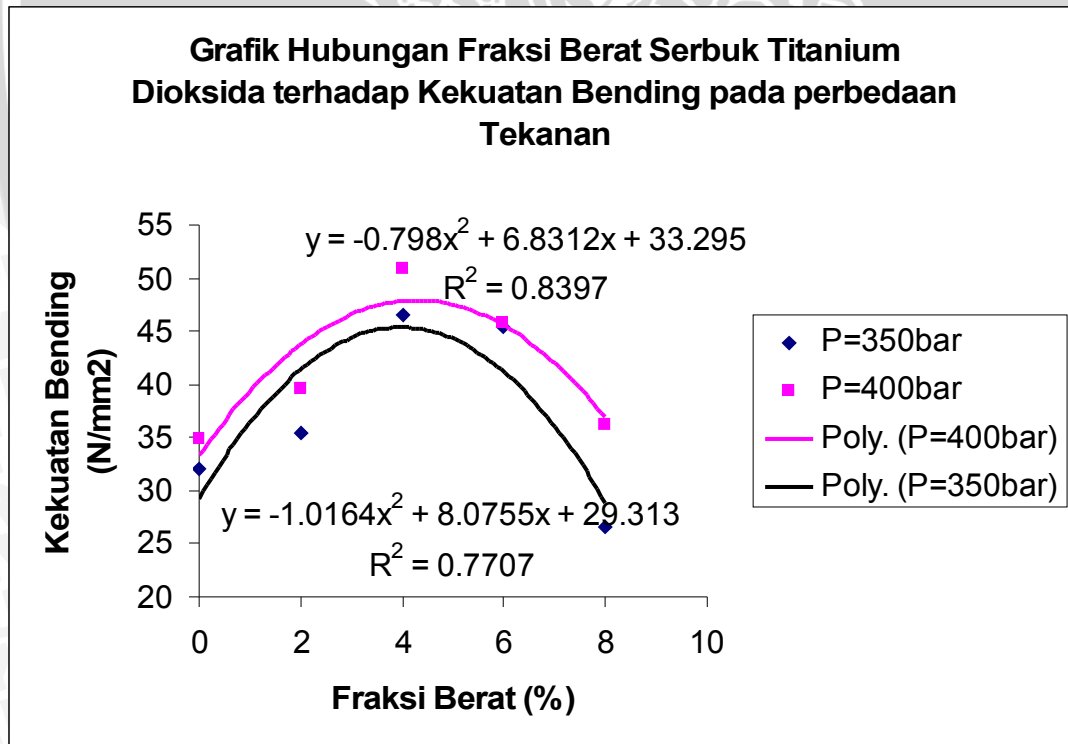
Gambar 4.4. Efek *bridging*

Sumber : Avner, 1974: 613

4.1.2. Pengaruh Fraksi Berat terhadap Kekuatan *Bending*

Tabel 4.2 : Data Hasil Pengujian Kekuatan *Bending* (N/mm<sup>2</sup>)

|  | Tekanan ( bar ) | Fraksi Berat(%) | Data kekuatan <i>Bending</i> ( N/mm <sup>2</sup> ) |        |        | Jumlah  | Rata-rata | Jumlah Total |
|--|-----------------|-----------------|--|--------|--------|---------|-----------|--------------|
|  |                 |                 | 1  | 2      | 3      |         |           |              |
|  | 350             | 0               | 29,297   | 33,482 | 33,482 | 96,261  | 32,087    |              |
|  |                 | 2               | 37,667   | 33,482 | 35,156 | 106,305 | 35,435    |              |
|  |                 | 4               | 50,223   | 46,038 | 43,527 | 139,788 | 46,596    |              |
|  |                 | 6               | 46,875   | 43,527 | 46,038 | 136,44  | 45,48     |              |
|  |                 | 8               | 29,297   | 25,112 | 25,112 | 79,521  | 26,507    | 558,315      |
|  | 400             | 0               | 33,482   | 41,853 | 29,297 | 104,632 | 34,877    |              |
|  |                 | 2               | 41,853   | 40,179 | 36,830 | 118,861 | 39,620    |              |
|  |                 | 4               | 46,038   | 54,409 | 51,897 | 152,389 | 50,796    |              |
|  |                 | 6               | 46,038   | 44,364 | 46,875 | 137,322 | 45,774    |              |
|  |                 | 8               | 33,482   | 35,156 | 40,179 | 108,817 | 36,272    | 622,021      |



Gambar 4.5 Pengaruh Fraksi Berat terhadap Kekuatan *Bending*

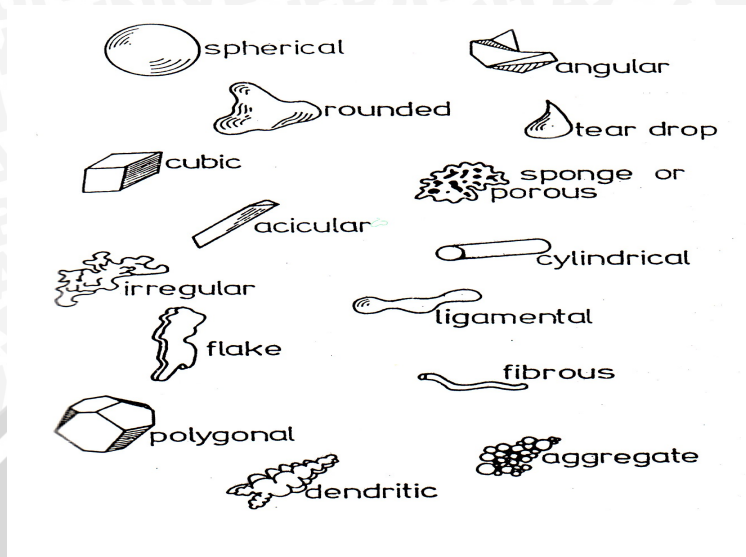
Pembahasan Hubungan antara Fraksi Berat dan Penekanan Serbuk Titanium Dioksida dengan kekuatan *Bending* AMCs

Pada gambar 4.2 dapat diketahui hubungan fraksi Berat serbuk Titanium Dioksida terhadap kekuatan *Bending* dengan perbedaan tekanan. Untuk semua variasi tekanan terdapat kecenderungan naik dan pada titik tertentu mengalami penurunan kekuatan bending pada masing – masing fraksi berat serbuk titanium dioksida. Dari data yang diperoleh, pada tekanan 400 bar memiliki kekuatan *bending* sebesar 50,796 N/mm<sup>2</sup> pada fraksi berat 4% dan terendah pada fraksi berat 0% dengan kekuatan *bending* sebesar 34,877 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan tekanan 350 bar memiliki kekuatan *bending* sebesar 46,596 N/mm<sup>2</sup> pada fraksi berat 4% dan terendah pada fraksi berat 8% dengan kekuatan *bending* sebesar 26,507 N/mm<sup>2</sup>.

Selain itu hasil perhitungan analisis regresi polynomial didapatkan persamaan regresi yaitu untuk penekanan 400 bar  $Y = - 0.798X^2 + 6,8312X + 33,295$ , dengan harga  $R^2=0,8397$ , sedangkan untuk penekanan 350 bar  $Y = - 1,0164X^2 + 8,0755X + 29,313$ , dengan harga  $R^2 = 0,7707$ . dalam hal ini Y mewakili besar kekuatan *bending* yang dihasilkan dan variable X mewakili prosentase fraksi berat penguat TiO<sub>2</sub>. persamaan tersebut dapat diartikan bahwa dengan meningkatnya prosentase fraksi berat TiO<sub>2</sub> maka nilai kekuatan *bending* AMCs akan semakin meningkat hingga dicapai nilai kekuatan *bending* yang maksimum, kemudian akan menurun. Nilai koefisien korelasi  $R^2 = 0,8397$  dan  $R^2 = 0,7707$  menunjukkan bahwa antara nilai kekuatan *bending* AMCs dengan prosentase fraksi berat TiO<sub>2</sub> sangat signifikan.

Seperti halnya pada pembahasan kekerasan diatas, hasil pengujian *bending* mempunyai kecenderungan grafik yang hampir sama yaitu untuk penekanan 400 bar mempunyai kekuatan *bending* yang lebih besar dari pada penekanan 350 bar. Dari gambar 4.2. grafik kekuatan bending yang mengalami penurunan secara beruntun pada fraksi berat 4%, 6%, 8% yaitu untuk penekanan 350 bar dari 46,596 sampai 26,507 sedangkan penekanan 400 bar dari 50,796 sampai 36,272. Ini juga dikarenakan daya ikat partikel semakin berkurang karena adanya rongga yang kosong seiring dengan bertambahnya fraksi berat.

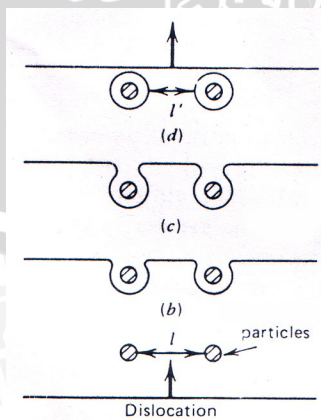
Contoh berbagai macam bentuk butir dapat digambarkan pada Gambar 4.3 dibawah



Gambar 4.6 Macam bentuk butir

Sumber : German, 1994: 39

Dengan ukuran partikel penguat yang lebih kecil maka partikel penguat tersebut akan mengisi ruang kosong disekitar partikel pengikat dan disertai dengan penyebaran partikel secara acak maka penguat akan memperkuat matrik dimanapun arah gaya bekerja. Mekanisme pengerasan dispersi ini dilakukan dengan cara menghambat pergerakan dislokasi yang terjadi. Dalam hal ini partikel penguat yang halus dapat bertindak sebagai penghalang jika terkena gaya dari luar dengan cara dipotong atau dilewati oleh garis dislokasi yang ada sehingga akan menghasilkan simpul yang akan menahan jika terkena gaya dari luar kembali, sesuai dengan Gambar 4.4 maka proses pengerasan partikel halus atau pengerasan dispersi dapat terjadi.



Gambar 4.7 Proses pengerasan dispersi

Sumber : Hertzberg, R.W. 1989: 129

Hal ini dikarenakan pemanasan material pembentuk dibawah titik cair serbuk yang dilakukan menghasilkan pengikatan partikel-partikel halus didalam material pembentuk dengan mekanisme penggelinciran batas butir atau dislokasi batas butir akan mengubah sudut perbedaan orientasi menjadi mengecil maka keadaan batas antar butir menjadi semakin teratur.

#### 4.2. Analisa Varian

Di dalam pengolahan data untuk analisis statistik digunakan Analisa Varian Dua Arah. Dari analisis varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi penekanan dan fraksi berat serbuk titanium dioksida pada aluminium matrik komposit terhadap kekuatan *bending* dan kekerasan.

Berdasarkan data – data pada tabel yang ada diperoleh perhitungan sebagai berikut :

##### 4.2.1 Analisa Varian Dua Arah Kekerasan

$$1. \quad \text{Jumlah Seluruh Perlakuan} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}$$

$$= 37,8 + 37,4 + 36,7 + \dots + 43,6$$

$$= 1229,4$$

$$2. \quad \text{Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2$$

$$= 1428,84 + 1398,76 + 1346,89 + \dots + 1900,96$$

$$= 50630,62$$

$$3. \quad \text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2}{rct}$$

$$= \frac{[1229,4]^2}{5 \times 3 \times 2} = 50380,812$$

$$4. \quad \text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - \text{FK}$$

$$= 50630,62 - 50380,812 = 249,808$$

$$5. \text{ Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - FK$$

$$= \frac{151711,46}{3} - 50380,812 = 189,6747$$

$$6. \text{ Jumlah Kuadrat Pengaruh A (JKA)} = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - FK$$

$$= \frac{302659,26}{2 \times 3} - 50380,812 = 62,398$$

$$7. \text{ Jumlah Kuadrat Pengaruh B (JKB)} = \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rt} - FK$$

$$= \frac{756430,82}{5 \times 3} - 50380,812 = 47,90933$$

$$8. \text{ Jumlah Kuadrat Pengaruh interaksi A dan B (JKAB)} = JKP - JKA - JKB$$

$$= 189,6747 - 62,398 - 47,90933 = 79,3674$$

$$9. \text{ Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} = JKT - JKA - JKB - JKAB$$

$$= 249,808 - 62,398 - 47,90933 - 79,3674$$

$$= 60,1423$$

10. Nilai Varian dari masing – masing perlakuan sebagai berikut :

$$a. S_A^2 = \frac{JKA}{r - 1} = \frac{62,398}{5 - 1} = 15,5995$$

$$b. S_B^2 = \frac{JKB}{c - 1} = \frac{47,90933}{3 - 1} = 23,9547$$

$$c. S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r - 1)(c - 1)} = \frac{79,3674}{8} = 9,9209$$

$$d. S^2 = \frac{JKG}{rc(t - 1)} = \frac{60,1423}{15} = 4,0095$$

11. Nilai  $F_{Hitung}$  dari masing – masing sumber keragaman sebagai berikut :

$$a. \text{ Untuk faktor A : } F_{Hitung} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{15,5995}{4,0095} = 3,8906$$

b. Untuk faktor B :  $F_{Hitung} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{23,9547}{4,0095} = 5,9745$

c. Untuk interaksi A dan B :  $F_{Hitung} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{9,9209}{4,0095} = 2.4744$

Untuk menyederhanakan perhitungan maka dibuat tabel analisa varian sebagai berikut:

Tabel 4.3: Analisa varian dua arah kekerasan

| Sumber keragaman  | Db | JK       | Varian (KT) | F <sub>hitung</sub> | F <sub>Tabel</sub> |
|-------------------|----|----------|-------------|---------------------|--------------------|
| Pengaruh A        | 4  | 62,398   | 15,5995     | 3,8906              | 2,331              |
| Pengaruh B        | 1  | 47,90933 | 23,9547     | 5,9745              | 3,222              |
| Interaksi A dan B | 4  | 79,3674  | 9,9209      | 2.4744              | 1,992              |
| Galat             | 8  | 60,1423  | 4,0095      |                     |                    |
| Total             | 29 | 249,817  |             |                     |                    |

Berdasar hasil perhitungan analisis dua arah yang ditunjukkan pada tabel 4.3, dengan mengambil tingkat keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ) dapat diambil kesimpulan:

1.  $F_{A Hitung} > F_{A Tabel}$ , maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan fraksi berat (faktor A) terhadap kekerasan dengan tingkat keyakinan 95%.
2.  $F_{B Hitung} > F_{B Tabel}$ , maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan tekanan (faktor B) terhadap kekerasan dengan tingkat keyakinan 95%.
3.  $F_{AB Hitung} > F_{AB Tabel}$ , maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan fraksi berat dan tekanan (faktor AB) terhadap kekerasan dengan tingkat keyakinan 95%.

#### 4.2.2 Analisa Varian Dua Arah Kekuatan Bending

1, Jumlah Seluruh Perlakuan =  $\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}$   
 $= 29,297 + 33,482 + 33,482 + \dots + 40,179$   
 $= 1180,336$

12. Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan =  $\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2$   
 $= 858,314 + 1121,044 + 1121,044 + \dots + 1614,352$



$$= 48195,467$$

$$13. \text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2}{rct}$$

$$= \frac{[1180,336]^2}{5 \times 3 \times 2} = 46439,76$$

$$14. \text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - FK$$

$$= 48195,467 - 46439,76 = 1755,707$$

$$15. \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - FK$$

$$= \frac{144043,74}{3} - 46439,76 = 1574,8199$$

$$16. \text{Jumlah Kuadrat Pengaruh A (JKA)} = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - FK$$

$$= \frac{286841,934}{2 \times 3} - 46439,76 = 1367,229$$

$$17. \text{Jumlah Kuadrat Pengaruh B (JKB)} = \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rt} - FK$$

$$= \frac{698625,639}{5 \times 3} - 46439,76 = 135,283$$

$$18. \text{Jumlah Kuadrat Pengaruh interaksi A dan B (JKAB)} = JKP - JKA - JKB$$

$$= 46439,76 - 1367,229 - 135,283 = 72,308$$

$$19. \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} = JKT - JKA - JKB - JKAB$$

$$= 1755,707 - 1367,229 - 135,283 - 72,308$$

$$= 180,887$$

20. Nilai Varian dari masing – masing perlakuan sebagai berikut :

$$a. S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{1367,229}{5-1} = 341,807$$

$$b. S_B^2 = \frac{JKB}{c - 1} = \frac{135,283}{3 - 1} = 67,641$$

$$c. S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r - 1)(c - 1)} = \frac{72,308}{8} = 9,039$$

$$d. S^2 = \frac{JKG}{rc(t - 1)} = \frac{180,887}{15} = 12,059$$

21. Nilai  $F_{Hitung}$  dari masing – masing sumber keragaman sebagai berikut :

$$a. \text{ Untuk faktor A : } F_{Hitung} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{314,807}{12,059} = 28,345$$

$$b. \text{ Untuk faktor B : } F_{Hitung} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{64,641}{12,059} = 5,609$$

$$c. \text{ Untuk interaksi A dan B : } F_{Hitung} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{9,039}{12,059} = 0,749$$

Untuk menyederhanakan perhitungan maka dibuat tabel analisa varian sebagai berikut:

Tabel 4.4: Analisa varian dua arah *bending*

| Sumber keragaman  | Db | JK       | Varian (KT) | $F_{hitung}$ | $F_{Tabel}$ |
|-------------------|----|----------|-------------|--------------|-------------|
| Pengaruh A        | 4  | 1367,229 | 341,807     | 28,345       | 2,331       |
| Pengaruh B        | 1  | 135,283  | 67,641      | 5,609        | 3,222       |
| Interaksi A dan B | 4  | 72,308   | 9,039       | 0,749        | 1,992       |
| Galat             | 8  | 180,887  | 12,059      |              |             |
| Total             | 29 | 249,817  |             |              |             |

Berdasar hasil perhitungan analisis dua arah yang ditunjukkan pada tabel, dengan mengambil tingkat keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ) dapat diambil kesimpulan:

- $F_A \text{ Hitung} > F_A \text{ Tabel}$ , maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan fraksi berat (faktor A) terhadap kekerasan dengan tingkat keyakinan 95%.
- $F_B \text{ Hitung} > F_B \text{ Tabel}$ , maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan tekanan (faktor B) terhadap kekerasan dengan tingkat keyakinan 95%.



6.  $F_{AB \text{ Hitung}} > F_{AB \text{ Tabel}}$ , maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan fraksi berat dan tekanan (faktor AB) terhadap kekerasan dengan tingkat keyakinan 95%.

### 4.3 Analisa Regresi

Dengan mengetahui distribusi data yang ada melalui scatter diagram maka sangat relevan apabila digunakan persamaan regresi polinomial untuk pengolahan statistik lebih lanjut. Persamaan umum regresi ini adalah sebagai berikut:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$$

Nilai  $b_0, b_1$ , dan  $b_2$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan polinomial sebagai berikut:

$$\Sigma Y = b_0 n + b_1 \Sigma X + b_2 \Sigma X^2$$

$$\Sigma XY = b_0 \Sigma X + b_1 \Sigma X^2 + b_2 \Sigma X^3$$

$$\Sigma X^2Y = b_0 \Sigma X^2 + b_1 \Sigma X^3 + b_2 \Sigma X^4$$

Dari data Kekerasan dan Kekuatan Bending yang diperoleh, dapat dibuat table seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5. dibawah ini :

#### 1. Kekuatan *Bending*

a. Tekanan 350 bar ( X = Fraksi Berat, Y = Kekuatan *Bending* )

| No     | X  | Y      | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | X <sup>4</sup> | XY      | X <sup>2</sup> Y | Y <sup>2</sup> |
|--------|----|--------|----------------|----------------|----------------|---------|------------------|----------------|
| 1      | 0  | 29,297 | 0              | 0              | 0              | 0       | 0                | 858,314        |
| 2      | 0  | 33,482 | 0              | 0              | 0              | 0       | 0                | 1121,044       |
| 3      | 0  | 33,482 | 0              | 0              | 0              | 0       | 0                | 1121,044       |
| 4      | 2  | 37,667 | 4              | 8              | 16             | 75,334  | 150,668          | 1418,803       |
| 5      | 2  | 33,482 | 4              | 8              | 16             | 66,964  | 133,928          | 1121,044       |
| 6      | 2  | 35,156 | 4              | 8              | 16             | 70,312  | 140,624          | 1235,944       |
| 7      | 4  | 50,223 | 16             | 64             | 256            | 200,892 | 803,568          | 2522,349       |
| 8      | 4  | 46,038 | 16             | 64             | 256            | 184,152 | 736,608          | 2119,497       |
| 9      | 4  | 43,527 | 16             | 64             | 256            | 174,108 | 696,432          | 1894,599       |
| 10     | 6  | 46,875 | 36             | 216            | 1296           | 281,25  | 1687,5           | 2197,266       |
| 11     | 6  | 43,527 | 36             | 216            | 1296           | 261,162 | 1566,972         | 1894,599       |
| 12     | 6  | 46,038 | 36             | 216            | 1296           | 276,228 | 1657,368         | 2119,497       |
| 13     | 8  | 29,297 | 64             | 512            | 4096           | 234,376 | 1875,008         | 857,728        |
| 14     | 8  | 25,112 | 64             | 512            | 4096           | 200,896 | 1607,168         | 630,613        |
| 15     | 8  | 25,112 | 64             | 512            | 4096           | 200,896 | 1607,168         | 630,613        |
| JUMLAH | 60 | 558,32 | 360            | 2400           | 16992          | 2226,57 | 12663,012        | 21743          |

- Dari pengolahan data diperoleh :

$$558,32 = 15b_0 + 60b_1 + 360b_2$$

$$2226,57 = 60b_0 + 360b_1 + 2400b_2$$

$$12663,012 = 360b_0 + 2400b_1 + 16992b_2$$

- Hasil penyelesaian persamaan di atas adalah sebagai berikut :

$$b_0 = 29,313$$

$$b_1 = 8,0755$$

$$b_2 = -1,0164$$

- Sehingga persamaan regresinya :

$$Y = -1,0164 x^2 + 8,0755 x + 29,313$$

- Koefisien korelasi data regresi :

$$JK_R = b_1 \left( \sum XY - \left( \frac{\sum X \sum Y}{n} \right) \right) + b_2 \left( \sum X^2 Y - \left( \frac{\sum X^2 \sum Y}{n} \right) \right)$$

$$= 8,0755 \left( 2226,57 - \left( \frac{60 \times 558,32}{15} \right) \right) + (-1,0164) \left( 12663,012 - \left( \frac{360 \times 558,32}{15} \right) \right)$$

$$= 741,0936931$$

$$JK_T = \sum Y^2 - \left( \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)$$

$$= 21743 - \left( \frac{(558,32)^2}{15} \right)$$

$$= 961,5851733$$

$$R^2 = \frac{JK_R}{JK_T}$$

$$= \frac{741,0936931}{961,5851733}$$

$$= 0,7707$$

b. Tekanan 400 bar ( X = Fraksi Berat, Y = Kekuatan *Bending* )

| No     | X  | Y       | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | X <sup>4</sup> | XY       | X <sup>2</sup> Y | Y <sup>2</sup> |
|--------|----|---------|----------------|----------------|----------------|----------|------------------|----------------|
| 1      | 0  | 33,482  | 0              | 0              | 0              | 0        | 0                | 1121,04        |
| 2      | 0  | 41,853  | 0              | 0              | 0              | 0        | 0                | 1751,67        |
| 3      | 0  | 29,297  | 0              | 0              | 0              | 0        | 0                | 858,314        |
| 4      | 2  | 41,853  | 4              | 8              | 16             | 83,706   | 167,412          | 1751,67        |
| 5      | 2  | 40,179  | 4              | 8              | 16             | 80,358   | 160,716          | 1614,35        |
| 6      | 2  | 36,83   | 4              | 8              | 16             | 73,66    | 147,32           | 1356,45        |
| 7      | 4  | 46,038  | 16             | 64             | 256            | 184,152  | 736,608          | 2119,5         |
| 8      | 4  | 54,409  | 16             | 64             | 256            | 217,636  | 870,544          | 2960,34        |
| 9      | 4  | 51,897  | 16             | 64             | 256            | 207,588  | 830,352          | 2693,3         |
| 10     | 6  | 46,038  | 36             | 216            | 1296           | 276,228  | 1657,368         | 2119,5         |
| 11     | 6  | 44,364  | 36             | 216            | 1296           | 266,184  | 1597,104         | 1968,17        |
| 12     | 6  | 46,875  | 36             | 216            | 1296           | 281,25   | 1687,5           | 2197,27        |
| 13     | 8  | 33,482  | 64             | 512            | 4096           | 267,856  | 2142,848         | 1121,04        |
| 14     | 8  | 35,156  | 64             | 512            | 4096           | 281,248  | 2249,984         | 1235,94        |
| 15     | 8  | 40,179  | 64             | 512            | 4096           | 321,432  | 2571,456         | 1614,35        |
| JUMLAH | 60 | 621,932 | 360            | 2400           | 16992          | 2541,298 | 14819,212        | 26482,91       |

- Dari pengolahan data diperoleh :
 
$$621,932 = 15b_0 + 60b_1 + 360b_2$$

$$2541,298 = 60b_0 + 360b_1 + 2400b_2$$

$$14819,212 = 360b_0 + 2400b_1 + 16992b_2$$
- Hasil penyelesaian persamaan di atas adalah sebagai berikut :
 
$$b_0 = 33,295$$

$$b_1 = 6,8312$$

$$b_2 = - 0,798$$
- Sehingga persamaan regresinya :
 
$$Y = - 0,798 x^2 + 6,8312 x + 33,295$$
- Koefisien korelasi data regresi :

$$\begin{aligned}
 JK_R &= b_1 \left( \sum XY - \left( \frac{\sum X \sum Y}{n} \right) \right) + b_2 \left( \sum X^2 Y - \left( \frac{\sum X^2 \sum Y}{n} \right) \right) \\
 &= 6,8312 \left( 2541,298 - \left( \frac{60 \times 621,932}{15} \right) \right) + (- 0,798) \left( 14819,212 - \left( \frac{36 \times 621,932}{15} \right) \right) \\
 &= 583,82871
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_T &= \sum Y^2 - \left( \frac{(\sum Y)^2}{n} \right) \\
 &= 26482,91 - \left( \frac{(621,932)^2}{15} \right) \\
 &= 695,28249 \\
 R^2 &= \frac{JKR}{JKT} \\
 &= \frac{583,82871}{695,28249} \\
 &= 0,8397
 \end{aligned}$$

2. Kekerasan

a. Tekanan 350 bar ( X = Fraksi Berat, Y = Kekerasan )

| No     | X  | Y     | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | X <sup>4</sup> | XY     | X <sup>2</sup> Y | Y <sup>2</sup> |
|--------|----|-------|----------------|----------------|----------------|--------|------------------|----------------|
| 1      | 0  | 37,8  | 0              | 0              | 0              | 0      | 0                | 1428,84        |
| 2      | 0  | 37,4  | 0              | 0              | 0              | 0      | 0                | 1398,76        |
| 3      | 0  | 36,7  | 0              | 0              | 0              | 0      | 0                | 1346,89        |
| 4      | 2  | 41,6  | 4              | 8              | 16             | 83,2   | 166,4            | 1730,56        |
| 5      | 2  | 38,6  | 4              | 8              | 16             | 77,2   | 154,4            | 1489,96        |
| 6      | 2  | 39,3  | 4              | 8              | 16             | 78,6   | 157,2            | 1544,49        |
| 7      | 4  | 43,2  | 16             | 64             | 256            | 172,8  | 691,2            | 1866,24        |
| 8      | 4  | 42    | 16             | 64             | 256            | 168    | 672              | 1764           |
| 9      | 4  | 42    | 16             | 64             | 256            | 168    | 672              | 1764           |
| 10     | 6  | 40,4  | 36             | 216            | 1296           | 242,4  | 1454,4           | 1632,16        |
| 11     | 6  | 40    | 36             | 216            | 1296           | 240    | 1440             | 1600           |
| 12     | 6  | 40,8  | 36             | 216            | 1296           | 244,8  | 1468,8           | 1664,64        |
| 13     | 8  | 36,4  | 64             | 512            | 4096           | 291,2  | 2329,6           | 1324,96        |
| 14     | 8  | 37,6  | 64             | 512            | 4096           | 37,6   | 2406,4           | 1413,76        |
| 15     | 8  | 36,5  | 64             | 512            | 4096           | 292    | 2336             | 1332,25        |
| JUMLAH | 60 | 590,3 | 360            | 2400           | 16992          | 2095,8 | 13948,4          | 23301,51       |

• Dari pengolahan data diperoleh :

$$590,3 = 15b_0 + 60b_1 + 360b_2$$

$$2095,8 = 60b_0 + 360b_1 + 2400b_2$$

$$13948,4 = 360b_0 + 2400b_1 + 16992b_2$$



- Hasil penyelesaian persamaan di atas adalah sebagai berikut :

$$b_0 = 36,913$$

$$b_1 = 2,4286$$

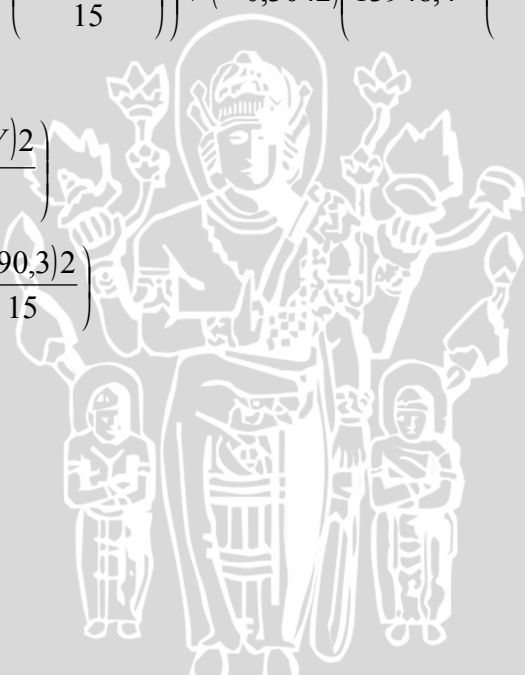
$$b_2 = -0,3042$$

- Sehingga persamaan regresinya :

$$Y = -0,3042 x^2 + 2,4286 x + 36,913$$

- Koefisien korelasi data regresi :

$$\begin{aligned}
 JK_R &= b_1 \left( \sum XY - \left( \frac{\sum X \sum Y}{n} \right) \right) + b_2 \left( \sum X^2 Y - \left( \frac{\sum X^2 \sum Y}{n} \right) \right) \\
 &= 2,4286 \left( 2095,8 - \left( \frac{60 \times 590,3}{15} \right) \right) + (-0,3042) \left( 13948,4 - \left( \frac{360 \times 590,3}{15} \right) \right) \\
 &= 69,92479 \\
 JK_T &= \sum Y^2 - \left( \frac{(\sum Y)^2}{n} \right) \\
 &= 23301,51 - \left( \frac{(590,3)^2}{15} \right) \\
 &= 71,23733 \\
 R^2 &= \frac{JK_R}{JK_T} \\
 &= \frac{69,92479}{71,23733} \\
 &= 0,9535
 \end{aligned}$$



b. . Tekanan 400 bar ( X = Fraksi Berat, Y = Kekerasan )

| No     | X  | Y     | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | X <sup>4</sup> | XY     | X <sup>2</sup> Y | Y <sup>2</sup> |
|--------|----|-------|----------------|----------------|----------------|--------|------------------|----------------|
| 1      | 0  | 39,5  | 0              | 0              | 0              | 0      | 0                | 1560,25        |
| 2      | 0  | 38,5  | 0              | 0              | 0              | 0      | 0                | 1482,25        |
| 3      | 0  | 38,1  | 0              | 0              | 0              | 0      | 0                | 1451,61        |
| 4      | 2  | 40,6  | 4              | 8              | 16             | 81,2   | 162,4            | 1648,36        |
| 5      | 2  | 43,2  | 4              | 8              | 16             | 86,4   | 172,8            | 1866,24        |
| 6      | 2  | 43,3  | 4              | 8              | 16             | 86,6   | 173,2            | 1874,89        |
| 7      | 4  | 47,7  | 16             | 64             | 256            | 190,8  | 763,2            | 2275,29        |
| 8      | 4  | 45,6  | 16             | 64             | 256            | 182,4  | 729,6            | 2079,36        |
| 9      | 4  | 43,7  | 16             | 64             | 256            | 174,8  | 699,2            | 1909,69        |
| 10     | 6  | 45,2  | 36             | 216            | 1296           | 271,2  | 1627,2           | 2043,04        |
| 11     | 6  | 41,6  | 36             | 216            | 1296           | 249,6  | 1497,6           | 1730,56        |
| 12     | 6  | 41,6  | 36             | 216            | 1296           | 249,6  | 1497,6           | 1730,56        |
| 13     | 8  | 43,8  | 64             | 512            | 4096           | 350,4  | 2803,2           | 1918,44        |
| 14     | 8  | 43,1  | 64             | 512            | 4096           | 344,8  | 2758,4           | 1857,61        |
| 15     | 8  | 43,6  | 64             | 512            | 4096           | 348,8  | 2790,4           | 1900,96        |
| JUMLAH | 60 | 639,1 | 360            | 2400           | 16992          | 2616,6 | 15674,8          | 27329,11       |

- Dari pengolahan data diperoleh :

$$639,1 = 15b_0 + 60b_1 + 360b_2$$

$$2616,6 = 60b_0 + 360b_1 + 2400b_2$$

$$15674,8 = 360b_0 + 2400b_1 + 16992b_2$$

- Hasil penyelesaian persamaan di atas adalah sebagai berikut :

$$b_0 = 38,871$$

$$b_1 = 2,2304$$

$$b_2 = - 0,2161$$

Sehingga persamaan regresinya :

$$Y = - 0,2161 x^2 + 2,2304x + 38,871$$

- Koefisien korelasi data regresi :

$$\begin{aligned}
 JK_R &= b_1 \left( \sum XY - \left( \frac{\sum X \sum Y}{n} \right) \right) + b_2 \left( \sum X^2 Y - \left( \frac{\sum X^2 \sum Y}{n} \right) \right) \\
 &= 2,2304 \left( 2616,6 - \left( \frac{60 \times 639,1}{15} \right) \right) + (- 0,2161) \left( 15674,8 - \left( \frac{360 \times 639,1}{15} \right) \right) \\
 &= 79,76806
 \end{aligned}$$



$$JK_T = \sum Y^2 - \left( \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)$$

$$= 27329,11 - \left( \frac{(639,1)^2}{15} \right)$$

$$= 99,18933$$

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT}$$

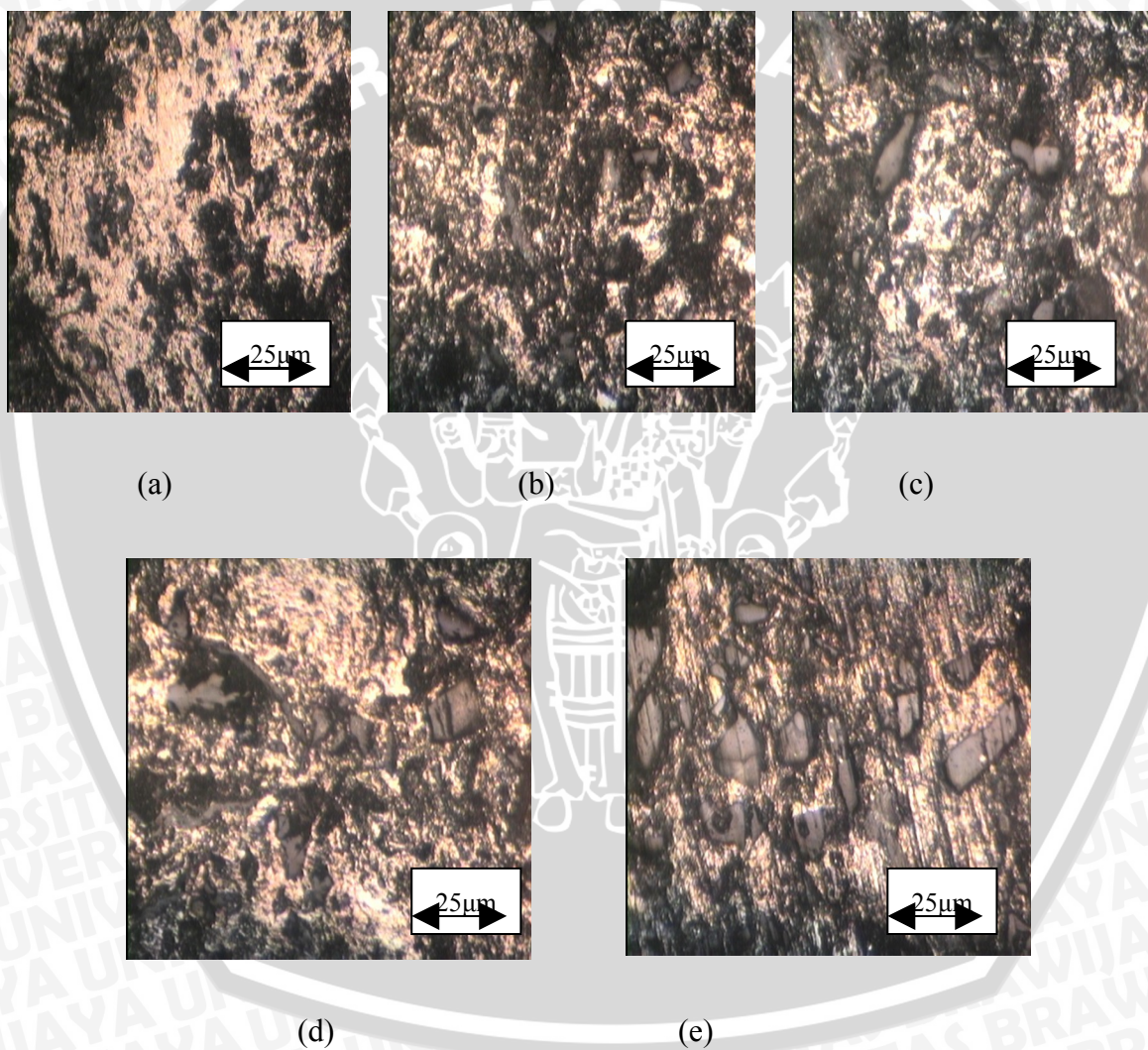
$$= \frac{79,76806}{99,18933}$$

$$= 0,8042$$



#### 4.4 Analisa Mikrostruktur

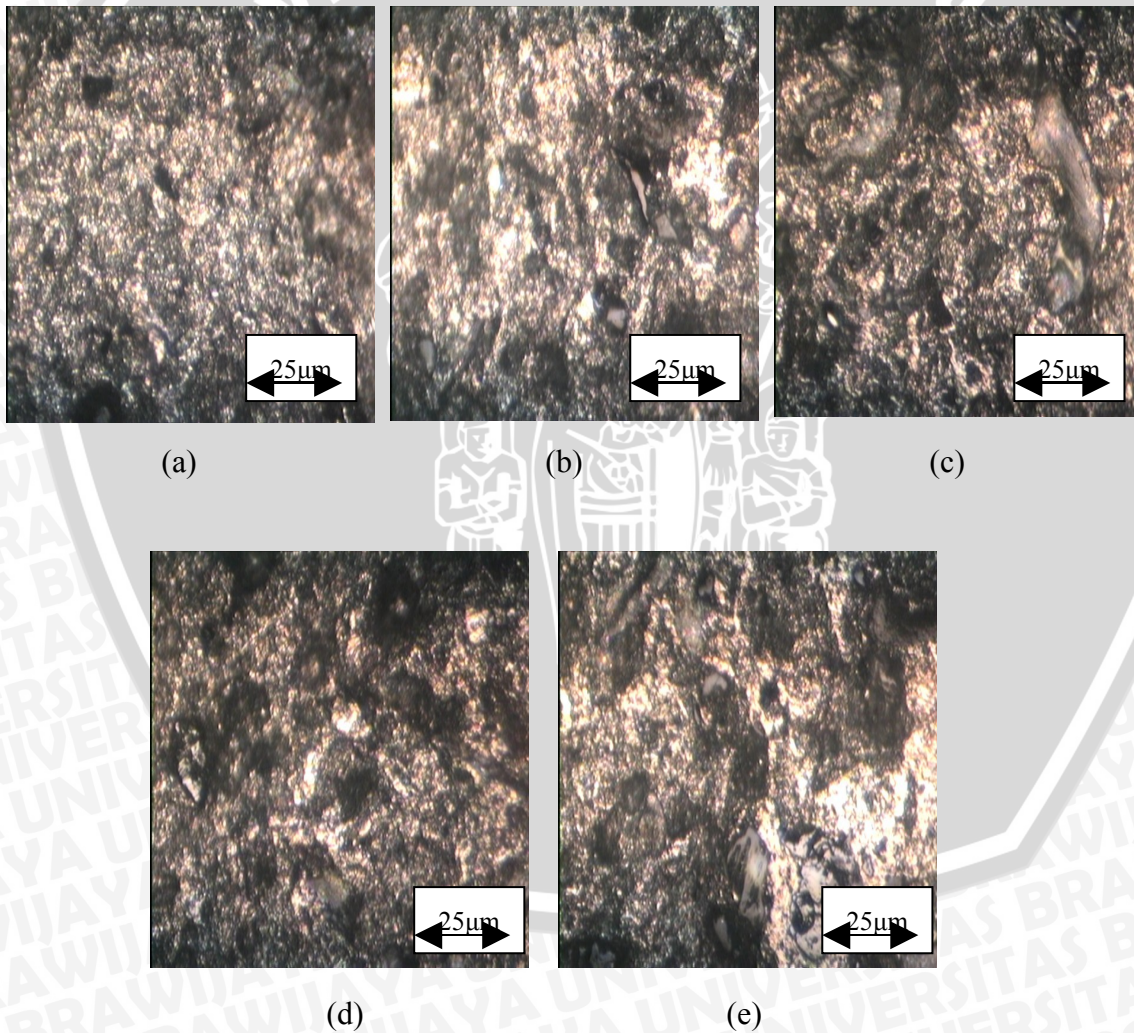
Hasil pemotretan struktur mikro menunjukkan hasil yang berbeda-beda untuk masing-masing prosentase penambahan kadar serbuk titanium dioksida. Hal ini dikarenakan proporsi matrik (Aluminium serbuk) yang terbentuk pada masing-masing spesimen berbeda-beda sesuai dengan prosentase penambahan fraksi berat serbuk titanium dioksida. Perbedaan fraksi berat matrik dan *filler* yang terjadi pada struktur mikro inilah yang mengakibatkan kekuatan *bending* dan kekerasan pada masing-masing spesimen juga berbeda.



Gambar 4.8 Hasil pemotretan struktur mikro spesimen dengan tekanan 350 bar, dengan perbesaran 552,5 kali.

a. 0%   b. 2%   c. 4%   d. 6%   e. 8%

Dari hasil pemotretan struktur mikro pada tekanan 350 bar pada gambar 4.8 terlihat bahwa sebagian besar matrik penyusun struktur mikronya adalah aluminium yang ditunjukkan warna silver dan sebagian kecil *filler* (serbuk titanium dioksida) yang ditunjukkan dengan warna putih. Serta serbuk titanium dioksida yang memiliki kekuatan lebih tinggi dari matriknya mengakibatkan serbuk titanium dioksida memiliki pengaruh positif pada matriknya. Ini terlihat dari semua data yang diperoleh dari hasil pengujian bahwa kekuatan *bending* dan kekerasannya mengalami kenaikan pada setiap penambahan serbuk titanium dioksida. Dapat dilihat juga dari foto mikrostruktur gambar 4.8 (a) memiliki struktur yang lebih halus dibandingkan gambar 4.8 (e).



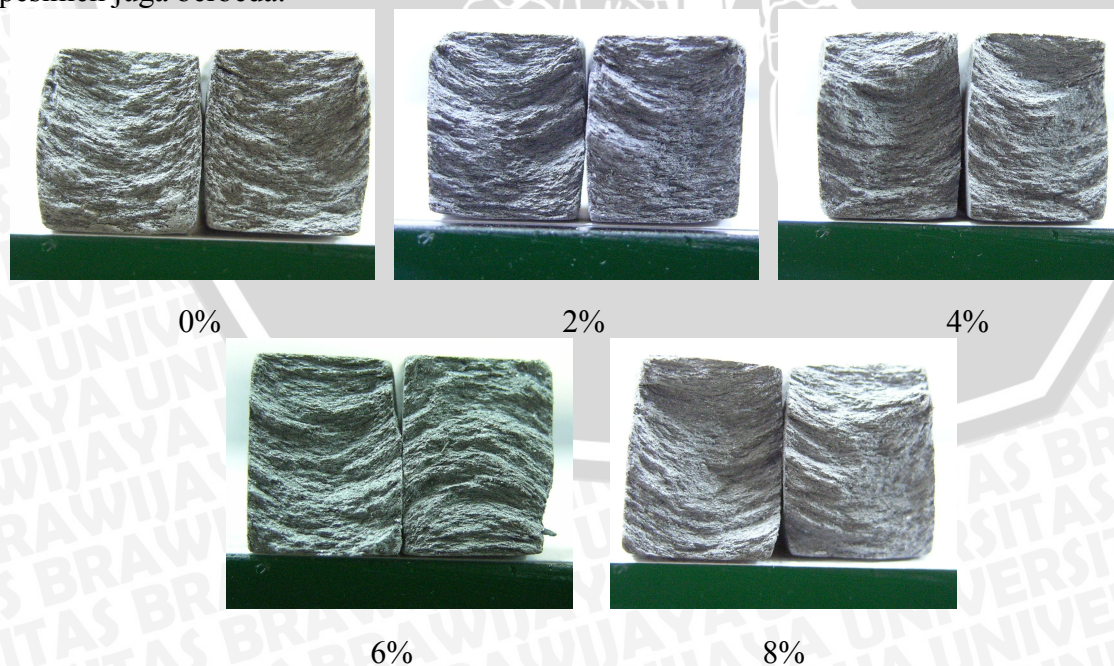
Gambar 4.9 Hasil pemotretan struktur mikro spesimen dengan tekanan 400 bar, dengan perbesaran 552,5 kali.

a. 0%   b. 2%   c. 4%   d. 6%   e. 8%

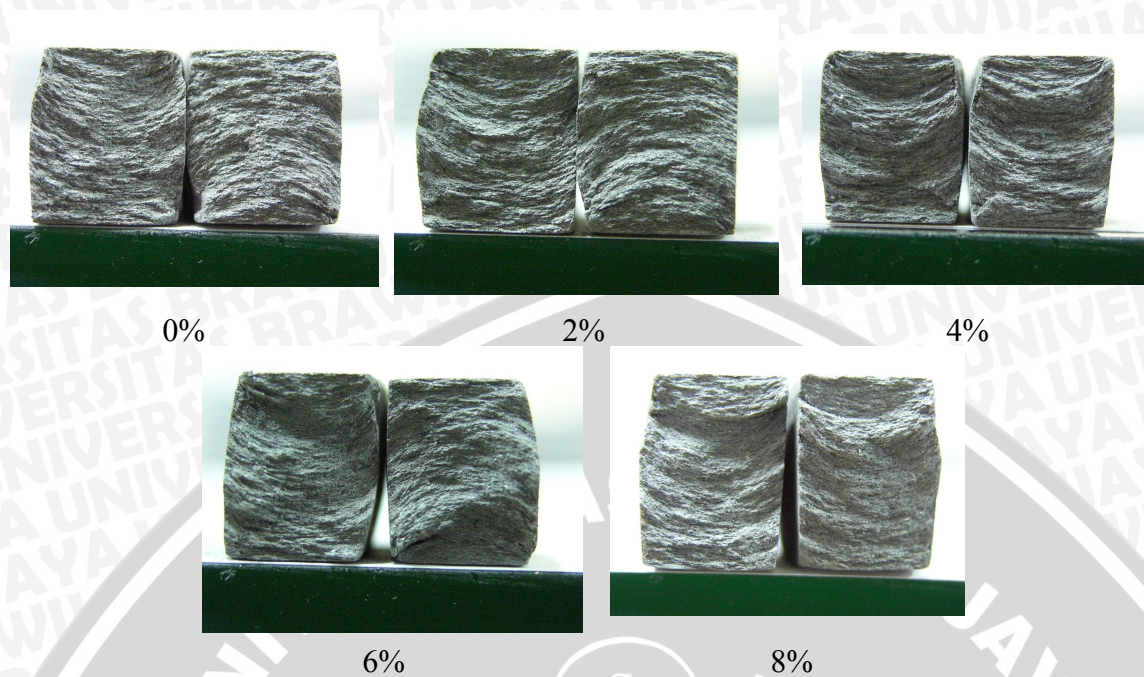
Dengan membandingkan penekanan yang digunakan, dengan penekanan 350 bar dan penekanan 400 bar pada gambar 4.8 dan 4.9 terlihat bahwa tekanan 400 bar memiliki struktur yang lebih halus dibandingkan dengan tekanan 350 bar. Ini terlihat dari struktur mikro, pada gambar 4.9 memiliki struktur yang lebih halus dan serbuk titanium dioksida yang terlihat juga sedikit. Ini dikarenakan dengan semakin meningkatnya tekanan maka menyebabkan struktur butiran aluminium dan serbuk titanium dioksida menjadi lebih padat dan homogen. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat serbuk titanium dioksida pada komposit aluminium dapat mengakibatkan kenaikan kekuatan *bending* dan kekerasannya. Dan peningkatan tekanan yang dipakai juga dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan *bending* dari komposit aluminium.

#### 4.5 Analisa Patahan

Dari hasil pemotretan bentuk patahan menunjukkan hasil yang berbeda-beda untuk masing-masing prosentase penambahan kadar serbuk titanium dioksida. Hal ini dikarenakan proporsi matrik (Aluminium serbuk) yang terbentuk pada masing-masing spesimen berbeda-beda sesuai dengan prosentase penambahan fraksi berat serbuk titanium dioksida. Perbedaan fraksi berat matrik dan *filler* inilah yang mengakibatkan bentuk patahan pada masing-masing spesimen juga berbeda.



Gambar 4.10 Bentuk patahan dengan penekanan 350 bar



Gambar 4.11 Bentuk patahan dengan penekanan 400 bar

Dari gambar 4.10 dan 4.11 di atas maka dapat kita lihat bahwa dengan penambahan fraksi berat pada 4% mempunyai struktur yang lebih halus dibanding dengan 0% maupun dengan 8%. Hal ini dikarenakan 4% mempunyai komposisi campuran antara matrik dan *filler* yang baik sehingga dapat meningkatkan kekuatan *bending* dibandingkan yang lain. Sesuai dengan gambar 4.5 di atas menunjukkan grafik yang parabolik yang menunjukkan bahwa fraksi berat 4% mempunyai kekuatan *bending* yang lebih besar daripada yang lain dan pada grafik itu juga menunjukkan bahwa penekanan 400 bar mempunyai kekuatan *bending* yang lebih besar dari pada 350 bar. Dari bentuk patahan juga dapat kita lihat bahwa penekanan 400 bar (gambar 4.11) mempunyai bentuk patahan yang lebih halus dari pada penekanan 350 bar (gambar 4.10). Itu disebabkan karena semakin tinggi penekanan maka kerapatan antar butir juga akan semakin meningkat. Sehingga penekanan 400 bar lebih kuat dari pada 350 bar. Untuk memperjelas gambar lihat lampiran 6.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari analisis data, hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dengan bertambahnya fraksi berat serbuk  $\text{TiO}_2$  dari 0% sampai 4% maupun penekanan 350 bar dan 400 bar akan meningkatkan kekerasan dan Kekuatan *bending* yaitu untuk 350 bar kekerasannya dari 37,166 BHN sampai 42,4 BHN dan kekuatan *bending*nya dari 32,087 N/mm<sup>2</sup> sampai 46,596 N/mm<sup>2</sup> sedangkan untuk 400 bar kekerasannya 38,7 BHN sampai 45,667 BHN dan kekuatan *bending* dari 50,796 N/mm<sup>2</sup> sampai 36,272 N/mm<sup>2</sup>. kekerasan dan kekuatan *bending* tertinggi pada penambahan fraksi berat serbuk  $\text{TiO}_2$  4% untuk penekanan 350 bar kekerasannya 42,4 BHN dan kekuatan *bending* 46,596 N/mm<sup>2</sup> dan untuk 400 bar kekerasannya 45,667 BHN dan kekuatan *bending* 50,796 N/mm<sup>2</sup>. kekerasan dan kekuatan *bending* terendah untuk penekanan 350 bar pada fraksi berat serbuk  $\text{TiO}_2$  sebanyak 8% sebesar 36,833 BHN dan 26,507 N/mm<sup>2</sup> sedangkan untuk penekanan 400 bar pada fraksi berat serbuk  $\text{TiO}_2$  sebanyak 0% sebesar 38,7 BHN dan 34,877 N/mm<sup>2</sup>. tapi mengalami penurunan baik kekerasan maupun kekuatan *bending* secara berurutan dari fraksi berat serbuk  $\text{TiO}_2$  6% sampai 8%.

### 5.2 Saran

Setelah melalui seluruh rangkaian proses penelitian dan pengerjaan skripsi ini, maka kami dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk dikembangkan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan *filler* yang lain.
2. Untuk mendapatkan produk dengan *performance* yang lebih baik, perlu digunakan partikel matrik dengan yang lebih kecil.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses *mixing* yang tepat untuk mendapatkan produk dengan homogenitas yang optimum.
4. Bahan partikel yang akan digunakan hendaknya dijaga tetap kering, dan tidak bercampur dengan pengotor lain.

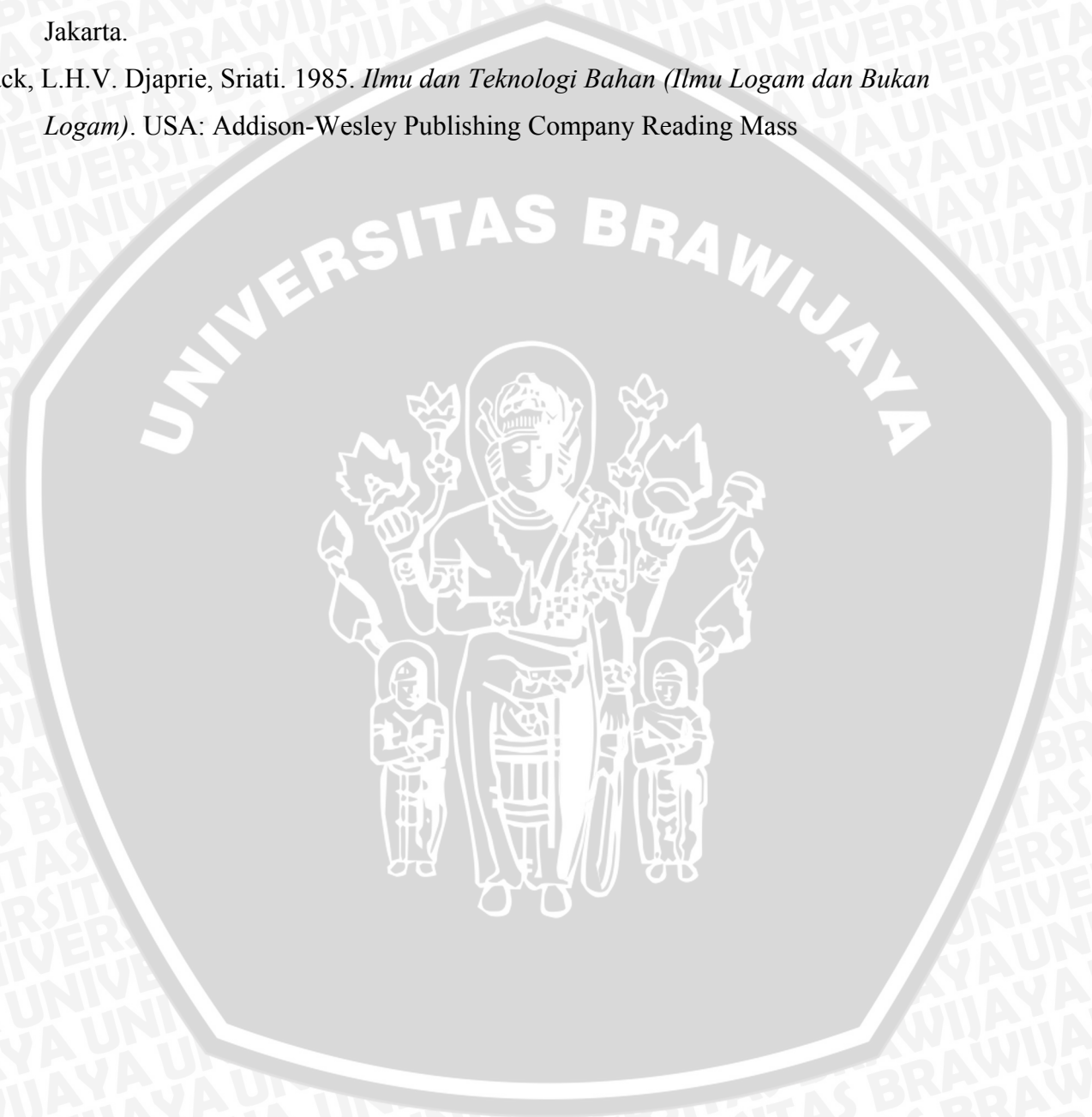
## DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, 1989, *Introduction to Engineering Materials*. New Dhelhi: Mc Graw Hill Book Inc.
- Amstead, Ostwald; Myron; 1990; *Teknologi Mekanik*; Jakarta; Erlangga.
- Avner, S.H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: Mc Graw Hill Book Inc.
- Budinski, Kenneth, G. 1998. *Engineering Materials Properties and Selection*, New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Dieter, G.E. 1988, *Mechanical Metallurgy: SI Metric Edition*. London: Mc Graw Hill Book Inc.
- German M. R. *Powder Metallurgy Science*; New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- Gibson, Ronald F, 1996, *Prinsiples of Composite Material Mechanics*, New York : Mc Graw Hill Book Co.
- Hartomo, Anton. 1992. *Komposit Metal*, Yogyakarta; Andi Offset
- Hertzberg, R.W. 1989. *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials.*, Canada: Willey and Sons. Inc.
- <http://www.accuratus.com/alumox.html>
- <http://www.ias.ac.in/sadhana/Pdf2003Apr/Pe1068.pdf>
- <http://www.matweb.com/Online Material Data Sheet.html>
- <http://www.webelements.com/webelements/compounds/text/Ti/O2Ti1-13463677.html>
- <http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Ti/index.html>
- Matthews, f. L and Rawling, R, D, 1994, *Composite Material : Engineering and Science Technology and Medicine*, Chapman and Hall, London.
- Kalpakjian, Serope. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*, USA: Addison Wesley Publishing Company Inc
- Santoso, W Nugraha, 1998, *Pengaruh Prosentase Berat SiC Terhadap Laju Keausan Sliding pada Metal Matrik Aluminium*. Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang.
- Schwartz, Mel M, 1996, *Composite Material : Properties, Nondestructive Testing and Repair*, New Jersey : Prentice Hall.
- Smallman, R.E. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Great Britain : Bath Press, Avon,

Suprpto, Wahyono., Wiroharjo., Marsoedi., Zaki, Imam., 1998. *Pengaruh Fraksi Volume Serat Silikon Karbida Dan Matrik Aluminium Dalam Sistem Komposit Matrik Logam*, Universitas Brawijaya, Malang.

Surdia, Tata dan Saito, Shinroku, 1994. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradya Paramitha. Jakarta.

Vlack, L.H.V. Djaprie, Sriati. 1985. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. USA: Addison-Wesley Publishing Company Reading Mass





Lampiran 1 : Daftar Uji Kekerasan

| Fraksi Berat (%) | Penekanan | Ulang - an | Titik Uji |      |      |      |      | Jumlah | Rata-rata |
|------------------|-----------|------------|-----------|------|------|------|------|--------|-----------|
|                  |           |            | 1         | 2    | 3    | 4    | 5    |        |           |
| 0                | 350       | 1          | 36        | 40   | 39   | 37   | 37   | 189    | 37.8      |
|                  |           | 2          | 35        | 39   | 38   | 38   | 37   | 187    | 37.4      |
|                  |           | 3          | 36        | 36   | 37   | 36.5 | 38   | 183.5  | 36.7      |
|                  | 400       | 1          | 40        | 41.5 | 39   | 39   | 38   | 197.5  | 39.5      |
|                  |           | 2          | 37        | 36   | 41   | 39   | 38   | 191    | 38.5      |
|                  |           | 3          | 37        | 36.5 | 38   | 40   | 39   | 190.5  | 38.1      |
| 2                | 350       | 1          | 40        | 41   | 36   | 45   | 46   | 208    | 41.6      |
|                  |           | 2          | 38        | 41   | 38   | 38   | 38   | 193    | 38.6      |
|                  |           | 3          | 40        | 39   | 38   | 39.5 | 40   | 196.5  | 39.3      |
|                  | 400       | 1          | 36        | 40   | 42   | 46   | 39   | 203    | 40.6      |
|                  |           | 2          | 41        | 45   | 41   | 46   | 43   | 216    | 43.2      |
|                  |           | 3          | 42        | 44   | 43.5 | 43   | 44   | 216.5  | 43.3      |
| 4                | 350       | 1          | 42        | 42   | 44   | 40   | 48   | 216    | 43.2      |
|                  |           | 2          | 43        | 43   | 39   | 41   | 44   | 210    | 42        |
|                  |           | 3          | 40        | 43   | 43   | 42   | 42   | 210    | 42        |
|                  | 400       | 1          | 46        | 49   | 48   | 48.5 | 47   | 238.5  | 47.7      |
|                  |           | 2          | 39        | 46.5 | 47.5 | 47   | 48   | 228    | 45.6      |
|                  |           | 3          | 38.5      | 40   | 45   | 47   | 48   | 218.5  | 43.7      |
| 6                | 350       | 1          | 42        | 39   | 38   | 43   | 40   | 202    | 40.4      |
|                  |           | 2          | 40        | 35   | 40   | 42   | 43   | 200    | 40        |
|                  |           | 3          | 42        | 40   | 39   | 40   | 43   | 204    | 40.8      |
|                  | 400       | 1          | 45        | 43   | 46   | 44.5 | 47.5 | 226    | 45.2      |
|                  |           | 2          | 40        | 42   | 41   | 41   | 44   | 208    | 41.6      |
|                  |           | 3          | 40        | 43   | 43   | 40   | 44   | 208    | 41.6      |
| 8                | 350       | 1          | 35        | 38   | 37   | 34   | 38   | 182    | 36.4      |
|                  |           | 2          | 38        | 39   | 37   | 37   | 37   | 188    | 37.6      |
|                  |           | 3          | 36        | 35   | 38   | 37.5 | 36   | 182.5  | 36.5      |
|                  | 400       | 1          | 44        | 47   | 44   | 40   | 44   | 219    | 43.8      |
|                  |           | 2          | 44.5      | 44   | 40   | 42.5 | 44.5 | 215.5  | 43.1      |
|                  |           | 3          | 43        | 45   | 44   | 42.5 | 43.5 | 218    | 43.6      |

**Lampiran 2 : Daftar Uji Bending**

|                 | Fraksi Berat | Data Kekuatan Bending |       |        |       |        |       | Jumlah | Rata-rata |        |
|-----------------|--------------|-----------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------|--------|
|                 |              | 1                     |       | 2      |       | 3      |       |        |           |        |
|                 |              | N                     | N/mm2 | N      | N/mm2 | N      | N/mm2 |        |           |        |
| Tekanan ( bar ) | 350          | 0                     | 175   | 29,297 | 200   | 33,482 | 200   | 33,482 | 96,261    | 32,087 |
|                 |              | 2                     | 225   | 37,667 | 200   | 33,482 | 210   | 35,156 | 106,305   | 35,435 |
|                 |              | 4                     | 300   | 50,223 | 275   | 46,038 | 260   | 43,527 | 139,788   | 46,596 |
|                 |              | 6                     | 280   | 46,875 | 260   | 43,527 | 275   | 46,038 | 136,44    | 45,48  |
|                 |              | 8                     | 175   | 29,297 | 150   | 25,112 | 150   | 25,112 | 79,521    | 26,507 |
|                 | 400          | 0                     | 200   | 33,482 | 250   | 41,853 | 175   | 29,297 | 104,632   | 34,877 |
|                 |              | 2                     | 250   | 41,853 | 240   | 40,179 | 220   | 36,83  | 118,861   | 39,62  |
|                 |              | 4                     | 275   | 46,038 | 325   | 54,409 | 310   | 51,897 | 152,389   | 50,796 |
|                 |              | 6                     | 275   | 46,038 | 265   | 44,364 | 280   | 46,875 | 137,322   | 45,774 |
|                 |              | 8                     | 200   | 33,482 | 210   | 35,156 | 240   | 40,179 | 108,817   | 36,272 |

**Lampiran 3. Kecukupan Data**

**Analisa Kecukupan Data**

Analisa kecukupan data digunakan untuk menyatakan apakah data yang diperoleh dapat dianalisa atau perlu adanya penambahan data baru.

Contoh perhitungan analisa kecukupan data :

Analisa kecukupan data kekerasan

( P = 400 bar, X = 0 % )

| No,       | (Xi)  | (Xi <sup>2</sup> ) | $(X_i - \bar{X}_i)$ | $(X_i - \bar{X}_i)^2$ |
|-----------|-------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 1         | 39,5  | 1560,25            | -0,8                | 0,64                  |
| 2         | 38,5  | 1482,25            | 0,2                 | 0,04                  |
| 3         | 38,1  | 1451,61            | 0,6                 | 0,36                  |
| Σ (total) | 116,1 | 4494,11            | 0                   | 1,04                  |

Dari tabel diatas dapat diketahui nilai N' sebagai berikut:

✓ Mean (rata-rata) sampel ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n} = \frac{116,1}{3} = 38,7$$

- ✓ Variasi sampel ( $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{1,04}{3 - 1} = 0,52$$

- ✓ Standart deviasi ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = 0,7211$$

- ✓ Tingkat ketelitian (*degree of accuracy* atau DA)

$$DA = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% = \frac{0,7211}{38,7} \times 100\% = 1,86331\%$$

- ✓ Tingkat keyakinan (*convident level* atau CL)

$$CL = 100\% - DA = 100\% - 1,86331\% = 98,13669\%$$

Maka didapatkan nilai tingkat keyakinan (k) sebesar 2,33 (dari tabel)

- ✓ Batas kontrol

Batas kontrol atas (*upper control limit* atau UCL)

$$UCL = \bar{X} + k \sigma = 38,7 + (2,33 \times 0,7211) = 40,3802$$

Batas kontrol bawah (*lower control limit* atau LCL)

$$LCL = \bar{X} - k \sigma = 38,7 - (2,33 \times 0,7211) = 37,0198$$

- ✓ S (tingkat ketelitian) =  $\frac{DA}{100} = \frac{1,86331}{100} = 0,0186331$

- ✓ Kecukupan data observasi N'

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

$$= \left[ \frac{2,33 / 0,0186331 \sqrt{(3 \times 4494,11) - (116,1)^2}}{116,1} \right]^2$$

$$= 1,8933$$

Dari perhitungan diperoleh  $N' = 1,8933$  Jadi  $N' < N$  atau  $(1,8933 < 3)$ , maka data dinyatakan cukup untuk dianalisa.

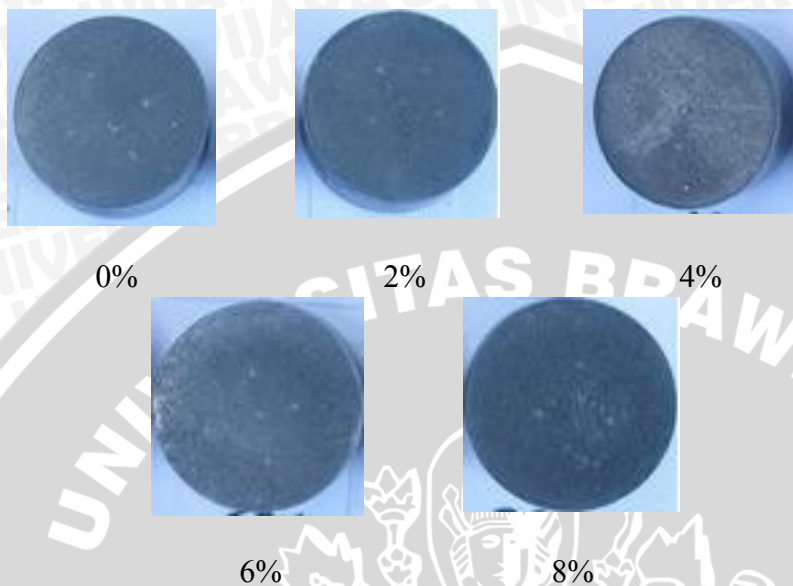
Dengan cara yang sama maka didapatkan perhitungan kecukupan data yang lainnya sebagai berikut :

Tabel : Perhitungan Kecukupan Data

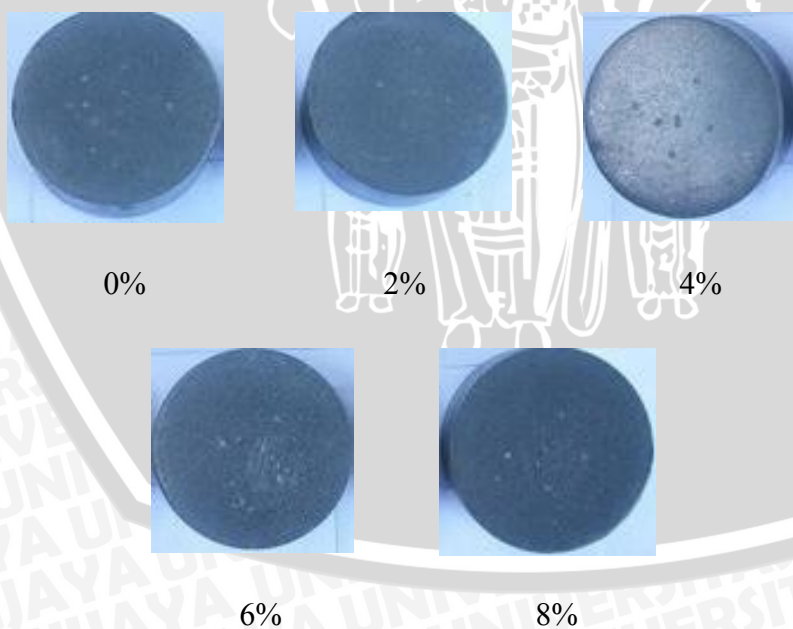
|               |     | Fraksi         | $N' < N$    |
|---------------|-----|----------------|-------------|
|               |     | Volume(%)<br>) |             |
| Tekanan (bar) | 350 | 0              | $1,903 < 3$ |
|               |     | 2              | $1,903 < 3$ |
|               |     | 4              | $1,903 < 3$ |
|               |     | 6              | $1,904 < 3$ |
|               |     | 8              | $1,902 < 3$ |
|               | 400 | 0              | $1,893 < 3$ |
|               |     | 2              | $1,947 < 3$ |
|               |     | 4              | $1,944 < 3$ |
|               |     | 6              | $1,423 < 3$ |
|               |     | 8              | $1,679 < 3$ |

**Lampiran 4. Foto Makro**

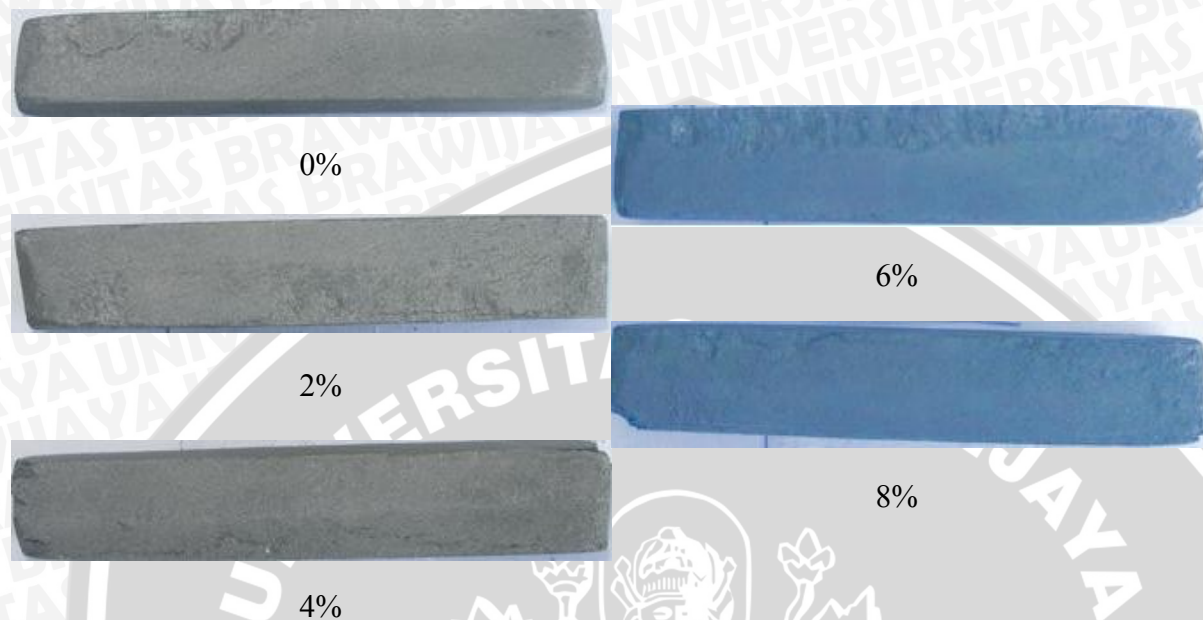
**Spesimen Uji Kekerasan dengan Penekanan 350 bar**



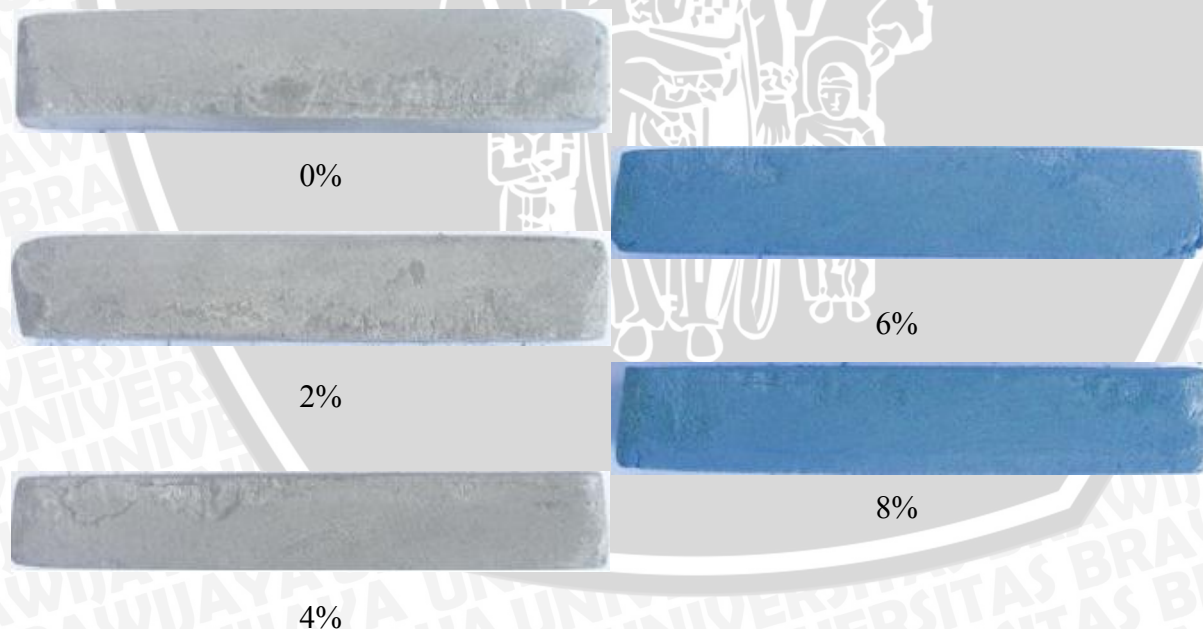
**Spesimen Uji Kekerasan dengan Penekanan 400 bar**



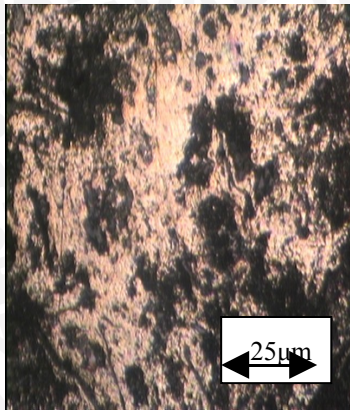
### Spesimen Uji Bending dengan Penekanan 350 bar



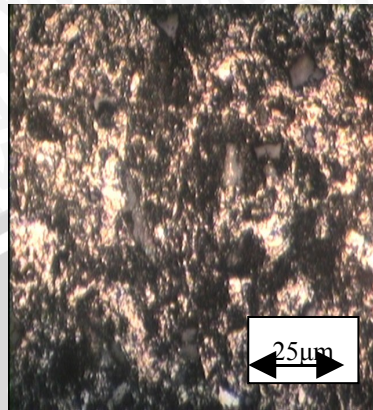
### Spesimen Uji Bending dengan Penekanan 400 bar



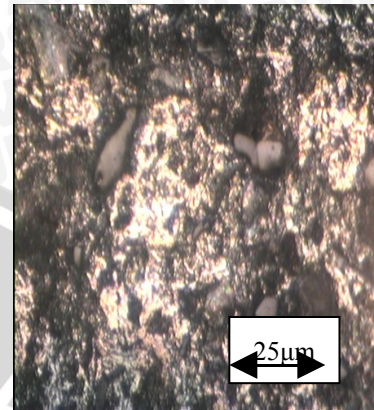
Lampiran 5. Foto Mikrostruktur



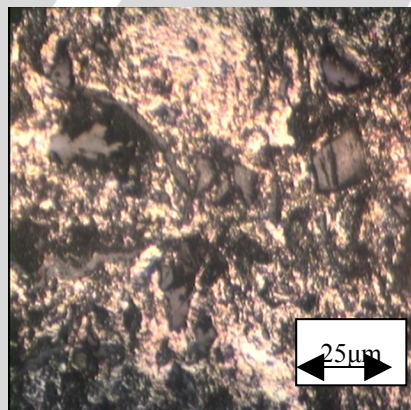
(a)



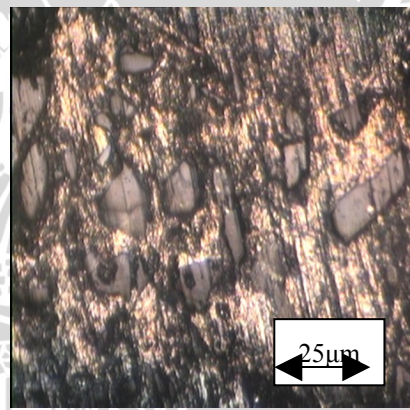
(b)



(c)



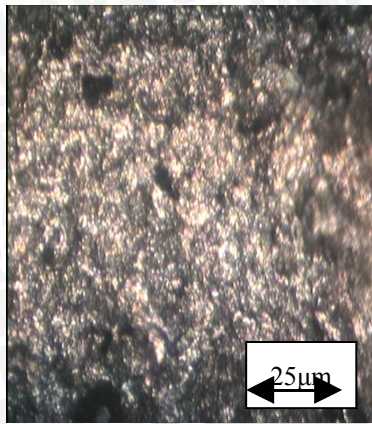
(d)



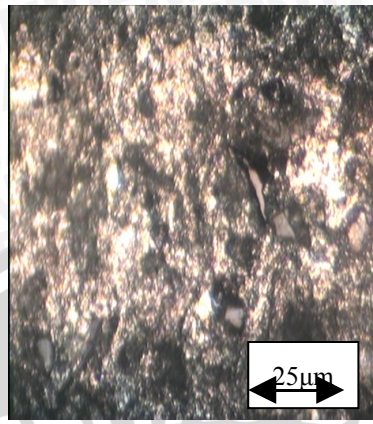
(e)

Hasil pemotretan struktur mikro spesimen dengan tekanan 350 bar, dengan perbesaran 552,5 kali.

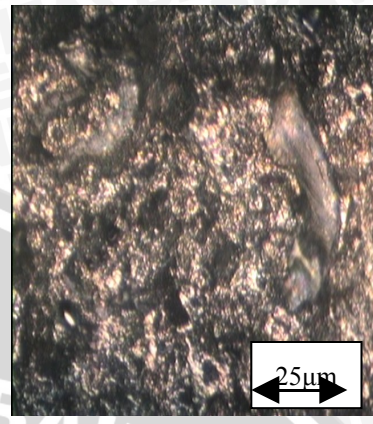
a. 0%   b. 2%   c. 4%   d. 6%   e. 8%



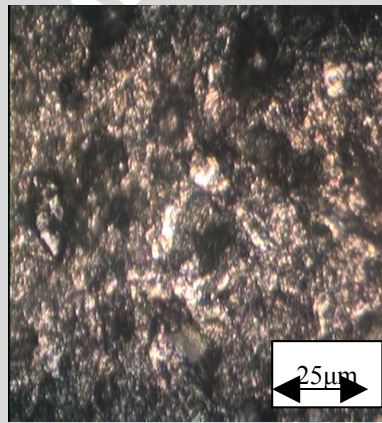
(a)



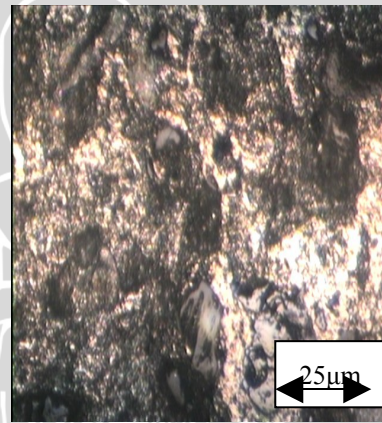
(b)



(c)



(d)



(e)

Hasil pemotretan struktur mikro spesimen dengan tekanan 400 bar, dengan perbesaran 552,5 kali.

a. 0%    b. 2%    c. 4%    d. 6%    e. 8%



### Lampiran 6. Foto Patahan Bending

1. Penekanan : 350 bar



0%



2%



4%



6%

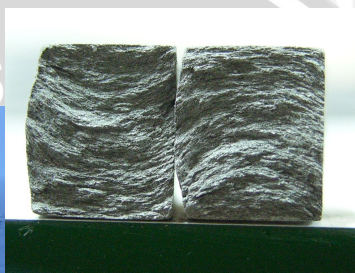


8%

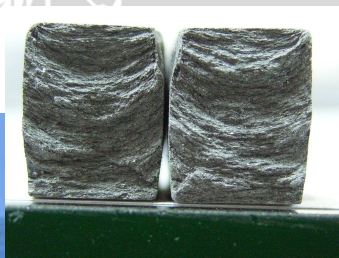
2. Penekanan : 400 bar



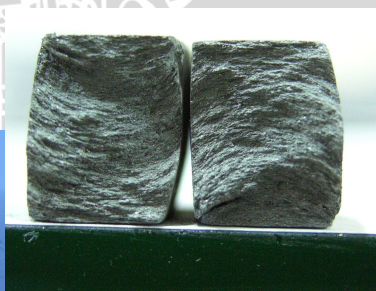
0%



2%



4%



6%



8%

Lampiran 7. Foto Alat-alat Penelitian



Alat Uji Kekerasan



*Centrifugal Sand Paper*



Mesin Ayak Rotab



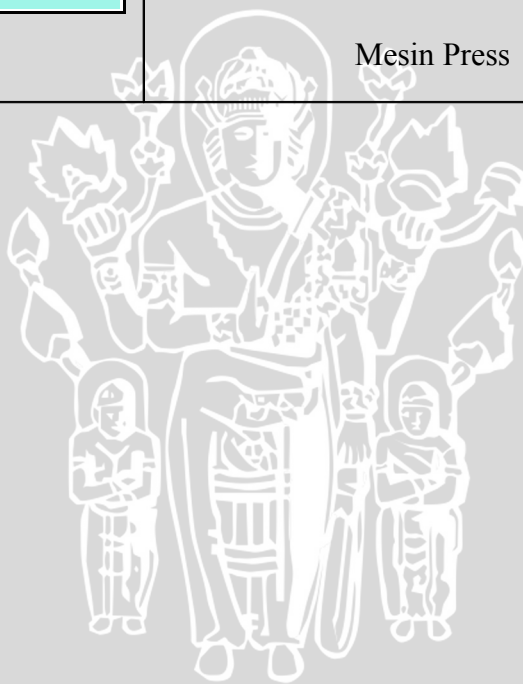
Jangka Sorong



Mesin Uji *Bending*

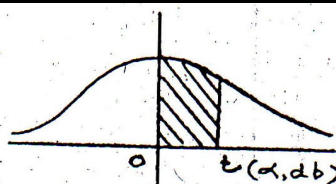


Mesin Press



Lampiran 8 : Tabel Distribusi T

TABEL - T



| db  | $\alpha$ | 0,05   | 0,01   | 0,025  | 0,05  | 0,10  |
|-----|----------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1   |          | 63.657 | 31.821 | 12.706 | 6.314 | 3.078 |
| 2   |          | 9.925  | 6.965  | 4.303  | 2.920 | 1.886 |
| 3   |          | 5.841  | 4.541  | 3.182  | 2.353 | 1.638 |
| 4   |          | 4.604  | 3.747  | 2.776  | 2.132 | 1.533 |
| 5   |          | 4.032  | 3.365  | 2.571  | 2.015 | 1.476 |
| 6   |          | 3.707  | 3.143  | 2.447  | 1.943 | 1.440 |
| 7   |          | 3.499  | 2.998  | 2.365  | 1.895 | 1.415 |
| 8   |          | 3.355  | 2.896  | 2.306  | 1.860 | 1.397 |
| 9   |          | 3.250  | 2.821  | 2.262  | 1.833 | 1.383 |
| 10  |          | 3.169  | 2.764  | 2.228  | 1.812 | 1.372 |
| 11  |          | 3.106  | 2.718  | 2.201  | 1.796 | 1.363 |
| 12  |          | 3.055  | 2.681  | 2.179  | 1.796 | 1.363 |
| 13  |          | 3.0122 | 2.650  | 2.160  | 1.771 | 1.350 |
| 14  |          | 2.977  | 2.624  | 2.145  | 1.761 | 1.341 |
| 15  |          | 2.947  | 2.602  | 2.131  | 1.753 | 1.341 |
| 16  |          | 2.921  | 2.583  | 2.120  | 1.746 | 1.337 |
| 17  |          | 2.898  | 2.567  | 2.110  | 1.740 | 1.333 |
| 18  |          | 2.878  | 2.552  | 2.100  | 1.734 | 1.330 |
| 19  |          | 2.861  | 2.539  | 2.093  | 1.729 | 1.325 |
| 20  |          | 2.845  | 2.528  | 2.086  | 1.725 | 1.325 |
| 21  |          | 2.831  | 2.518  | 2.080  | 1.721 | 1.323 |
| 22  |          | 2.819  | 2.508  | 2.074  | 1.717 | 1.321 |
| 23  |          | 2.807  | 2.500  | 2.069  | 1.714 | 1.319 |
| 24  |          | 2.797  | 2.492  | 2.064  | 1.711 | 1.315 |
| 25  |          | 2.787  | 2.485  | 2.060  | 1.705 | 1.316 |
| 26  |          | 2.779  | 2.479  | 2.056  | 1.706 | 1.315 |
| 27  |          | 2.771  | 2.473  | 2.052  | 1.703 | 1.314 |
| 28  |          | 2.763  | 2.467  | 2.048  | 1.701 | 1.313 |
| 29  |          | 2.756  | 2.462  | 2.045  | 1.699 | 1.311 |
| 30  |          | 2.750  | 2.457  | 2.042  | 1.698 | 1.310 |
| 40  |          | 2.704  | 2.423  | 2.021  | 1.684 | 1.303 |
| 60  |          | 2.660  | 2.390  | 2.000  | 1.671 | 1.296 |
| 100 |          | 2.617  | 2.358  | 1.980  | 1.658 | 1.289 |
|     |          | 2.576  | 2.326  | 1.960  | 1.645 | 1.282 |

