

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir

Dari mesin uji puntir yang digunakan diketahui bahwa panjang lengan 200mm = 0,2 m, kemudian dari pengujian puntir didapat beban yang diterima (dalam hal ini diambil beban yang diambil adalah beban *ultimate*) dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Beban Ultimate Saat Pengujian Puntir

Pengulangan	500 rpm	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
Ke-					
1	15,03	15.21	16,73	14.81	15,53
2	14,00	14.65	15,28	15.58	14,81
3	13.6	14.23	15,28	14.70	13,64

Contoh perhitungan momen puntir:

$$M_T = F.L$$

$$M_T = (15,03 \text{ Kg}).(9,81 \text{ m/s}^2). 0,2 \text{ m} = 29,48 \text{ N.m}$$

dengan :

M_T : Momen torsi (N.m)

F : Gaya (N)

L : Panjang lengan (m)

Untuk spesimen lainnya, hasil perhitungan momen puntir dapat dilihat dalam Tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Data Momen Puntir Maksimum Hasil Pengujian Puntir

Pengulangan Uji Momen puntir (N.m)	Kecepatan Putar (rpm)				
	500	1000	1500	2000	2500
1	29,48	29.84	32,82	29,05	30,46
2	27,46	28.74	29,97	30,56	29,05
3	26,68	27,91	29,97	28,84	26,76

Setelah didapat data besarnya momen puntir maksimum saat pengujian puntir, kemudian data tersebut di-konversikan menjadi tegangan geser dengan menggunakan persamaan (2-8).

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan tegangan geser :

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{M_T D / 2}{fD^4 / 32} = \frac{16M_T}{fD^3} \\ &= \frac{16 \cdot 29,48 \text{ Nm}}{0,00000198 \text{ m}} \\ &= 237,74 \text{ MPa} \end{aligned}$$

dengan :

τ_{\max} : Tegangan geser (MPa)

M_T : Momen torsi (N.m)

D : Diameter (m)

$fD^4 / 32$: Momen inersia polar benda uji pejal (m⁴)

Untuk data yang lain dihitung mengikuti urutan contoh perhitungan diatas; dan hasilnya dirangkum didalam Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser (MPa)

Pengulangan Uji kekuatan puntir (MPa)	Kecepatan Putar (rpm)					
	500	1000	1500	2000	2500	
1	237,74	239,61	252,34	224,01	231,74	
2	219,52	231,07	197,40	233,73	226,29	
3	187,73	196,72	229,52	220,89	219,69	
Jumlah	639,59	667,4	679,26	678,63	677,72	3347,56
Rata-rata	214,86	222,46	226,42	226,21	225,90	669,50

Agar lebih mudah dipahami, nilai kekuatan puntir pada Tabel 4.3 diatas diplot dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.2.

4.2 Data Hasil Pengujian Porositas

Porositas sendiri diakibatkan karena adanya gelembung-gelembung gas yang terjebak diantara butiran logam hasil coran saat logam cair dituang ke dalam cetakan. Data porositas dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Porositas (%)

Kecepatan putar	500 rpm	1000 rpm	1500 rpm	2000rpm	2500 rpm
Pengulangan					
1	5.75	5,75	3.15	2,78	1.33
2	5.3	3,89	2.78	2,26	1.41
3	5.4	5,01	3.89	2,41	2.3
Jumlah	16.45	14,65	9.82	7,45	5.04
Rata-rata	5.48	4,88	3.27	2,48	1.68

Data porositas pada tabel 4.4 didapatkan dari perhitungan porositas. Data yang diperlukan untuk perhitungan porositas dapat dilihat pada lampiran 4 dan 5. Contoh perhitungan porositas pada tabel 4.4 adalah sebagai berikut:

- Kecepatan putar cetakan 500 rpm

- *Apparent Density*

$$\begin{aligned} \rho_s &= \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \\ &= 1 \frac{67.75}{67.75 - (49.15 - 8,06)} \\ &= 2.54 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

- *True density*

$$\begin{aligned} \rho_{th} &= \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Mg}{\rho_{Mg}} \right) + \left(\frac{\%Si}{\rho_{Si}} \right) + etc. \right\}} \\ \rho_{th} &= \frac{100}{\left\{ \left(\frac{97,63}{2,7} \right) + \left(\frac{1,023}{1,74} \right) + \left(\frac{0,651}{2,33} \right) + etc. \right\}} \\ &= 2.695 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

- Porositas

$$\begin{aligned} \%P &= \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{2,54}{2.695} \right) \times 100\% \\ &= 5.75\% \end{aligned}$$

4.3 Analisis Varian Satu Arah

Analisis varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar terhadap kekuatan puntir dan cacat porositas pada silinder aluminium paduan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal dapat diketahui dari hasil analisis variannya. Jika F_{hitung} lebih besar

dari pada F_{tabel} maka faktor yang diuji memberikan pengaruh yang nyata. Namun apabila F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak memberikan pengaruh yang nyata.

4.4.1 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Puntir

Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 x_{ij} \\ &= 237,74 + 252,34 + \dots + 187,73 \\ &= 2001,51 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 \\ &= (237,74)^2 + (252,34)^2 + \dots + (187,73)^2 \\ &= 445398,26 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned} fk &= \frac{T^2}{nk} \\ &= \frac{(2001,51)^2}{15} \\ &= 435225,422 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - fk \\ &= 10172,83 \end{aligned}$$



- Jumlah kuadrat perlakuan (*JKP*)

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

$$= 445115,80 - 435225,422$$

$$= 9890,37$$

- Jumlah kuadrat galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 10172,83 - 9890,37$$

$$= 282,46$$

- Kuadrat tengah perlakuan (*KTP*)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{9890,37}{3 - 1}$$

$$= 4945,18$$

- Kuadrat tengah galat (*KTG*)

$$KTG = \frac{JKG}{N - k}$$

$$= \frac{282,46}{9 - 3}$$

$$= 47,16$$

- Sehingga F_{hitung} adalah

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{4945,18}{47,16}$$

$$= 104,85$$



Dengan menentukan tingkat kesalahan () sebesar 5 %, maka untuk $F_{tabel} (; k-1; N-k) = F_{tabel} (0,05; 2; 6)$ adalah 3,48

Tabel 4.5 Analisis Varian Satu Arah Data Kekuatan Puntir

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	9890,37	4945,18	104,85	3,48
Galat	10	282,46	47,16		
Total	14	10172,83			

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara kecepatan putar terhadap kekuatan puntir dengan resiko kesalahan 5%.

4.4.2 Analisis Varian Porositas

Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 x_{ij} \\
 &= 5,75+5,75+\dots+2,3 \\
 &= 54,41
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 \\
 &= (5,75)^2 + (5,75)^2 + \dots + (2,3)^2 \\
 &= 224,07
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$fk = \frac{T^2}{nk}$$



$$= \frac{(54,41)^2}{15}$$

$$= 197,36$$

- Jumlah kuadrat total (*JKT*)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - fk$$

$$= 224,07 - 197,36$$

$$= 26,71$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (*JKP*)

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

$$= 232,15 - 197,36$$

$$= 34,79$$

- Jumlah kuadrat galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 8,08$$

- Kuadrat tengah perlakuan (*KTP*)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{34,79}{5 - 1}$$

$$= 8,69$$

- Kuadrat tengah galat (*KTG*)

$$KTG = \frac{JKG}{N - k}$$

$$= \frac{8,08}{15 - 5}$$

$$= 0,80$$



- Sehingga F_{hitung} adalah

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{KTP}{KTG} \\ &= \frac{8,69}{0,808} \\ &= 10,75 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Analisis Varian Satu Arah Data Porositas

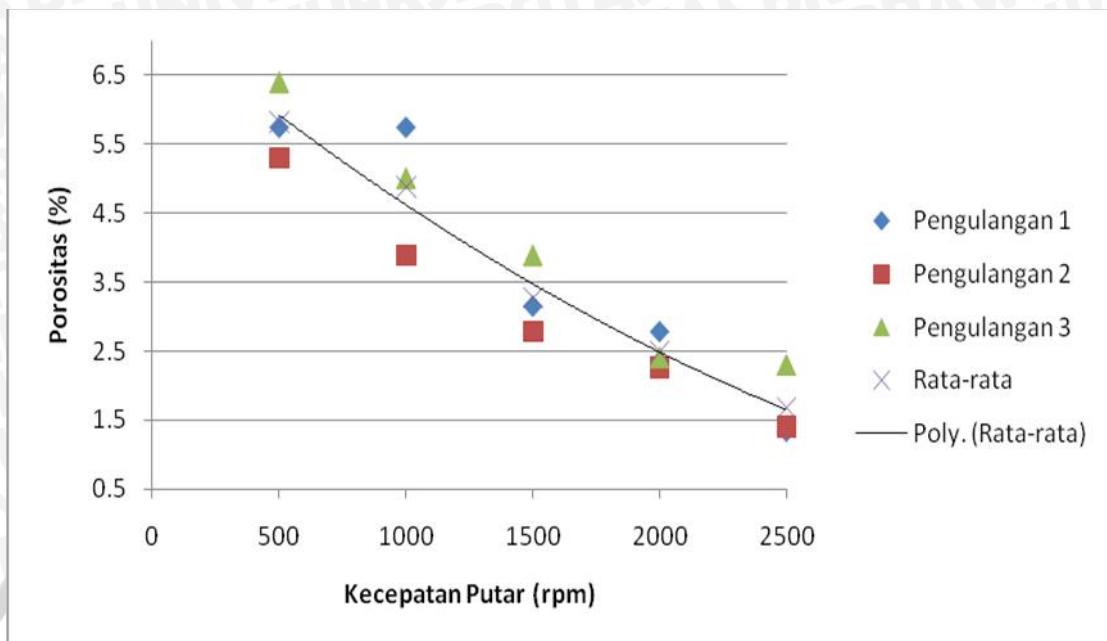
Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	34,79	8,69	10,75	3,48
Galat	10	8,08	0,808		
Total	14	26,71			

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara kecepatan putar terhadap porositas dengan resiko kesalahan 5%.

4.4 Pembahasan

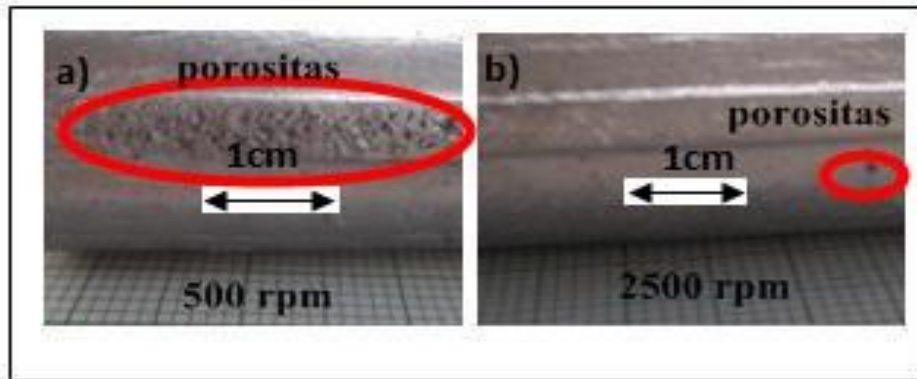
Kecepatan putar pada saat proses pengecoran sentrifugal sangat berpengaruh pada hasil coran. Semakin tinggi kecepatan putar maka gaya sentrifugal yang dihasilkan semakin besar sehingga logam cair akan lebih cepat terlempar ke dinding cetakan dan proses pembekuan yang terjadi akan semakin cepat akibatnya butiran yang dihasilkan semakin kecil. Selain itu adanya gaya sentrifugal yang terjadi akan memberikan tekanan pada logam cair sehingga gas-gas yang terjebak semakin kecil.

Hubungan antara kecepatan putar dengan porositas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1: Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan (rpm) Terhadap Porositas (%)

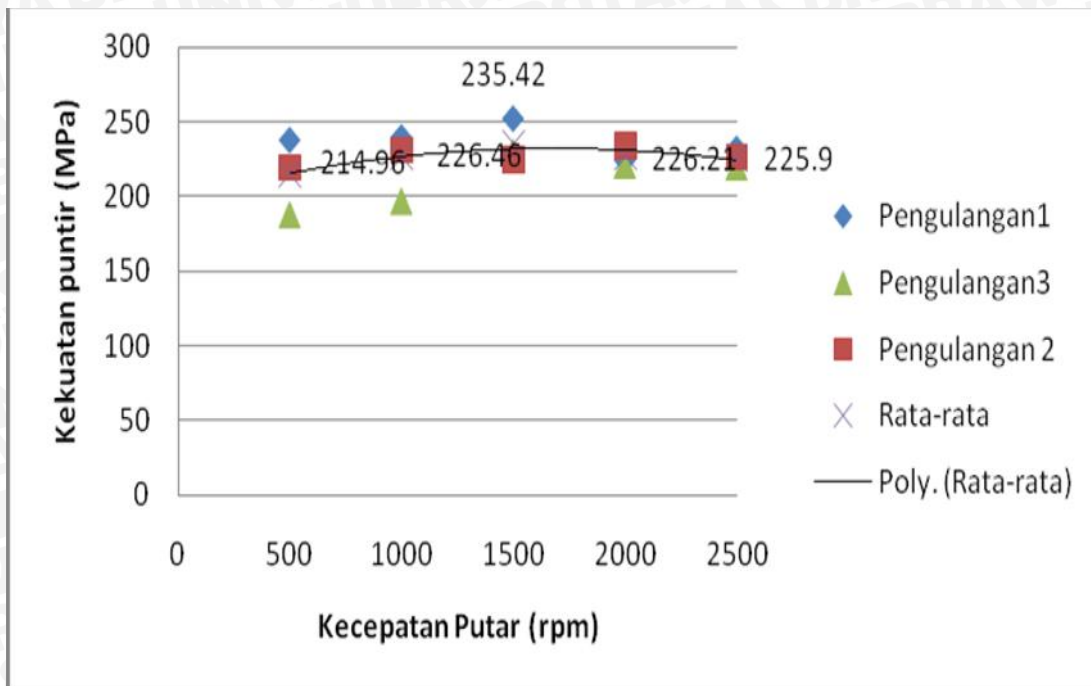
Pada grafik hubungan antara kecepatan putar terhadap porositas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil pengecoran sentrifugal tersebut (gambar 4.1) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan porositas yang terjadi akibat kecepatan putar cetakan. Pada grafik tersebut dapat juga kita lihat nilai porositas yang semakin menurun. Nilai porositas tertinggi didapatkan pada kecepatan putar 500 rpm dengan nilai porositas yaitu 5,75% dan untuk nilai porositas yang terendah didapat pada kecepatan putar 2500 rpm yaitu sebesar 1,33%. Penurunan besarnya prosentase porositas tersebut disebabkan karena semakin tingginya kecepatan putar, maka semakin besar gaya dorong yang diberikan pada butiran logam untuk menjauhi sumbu putarnya. Butiran logam yang menerima gaya dorong akan menekan ke dinding cetakan sehingga butiran logam selanjutnya akan menekan masuk butiran sebelumnya sehingga gas yang ada didalam logam cair akan terdorong keluar dari logam cair. Selain itu semakin besar gaya dorong maka semakin cepet logam cair menumbuk cetakan sebelum dendrite terbentuk sehingga struktur butiran menjadi kecil dan padat. Porositas tersebut terjadi karena terjebaknya gas pada logam cair ketika logam cair tersebut membeku, dengan kecepatan putar yang semakin meningkat maka gas yang terjebak akan semakin kecil sehingga didapatkan prosentase porositas yang semakin rendah. Hubungan antara kecepatan putar dengan porositas dapat dilihat pada hasil foto makro (gambar 4.2).



Gambar 4.2 Foto Makro Hasil Penelitian

Setiap produk hasil coran pada setiap aplikasinya akan mengalami pembebanan dinamis , sehingga akan mengalami penambahan penampang, dengan melakukan pengujian puntir sifat mekanis berupa kekuatan akan diketahui. Kekuatan puntir dipengaruhi oleh ukuran butiran serta porositasnya. Semakin halus butiran dan porositas semakin menurun maka kekuatan puntir akan meningkat.

Hubungan antara kecepatan putar terhadap kekuatan puntir aluminium paduan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.

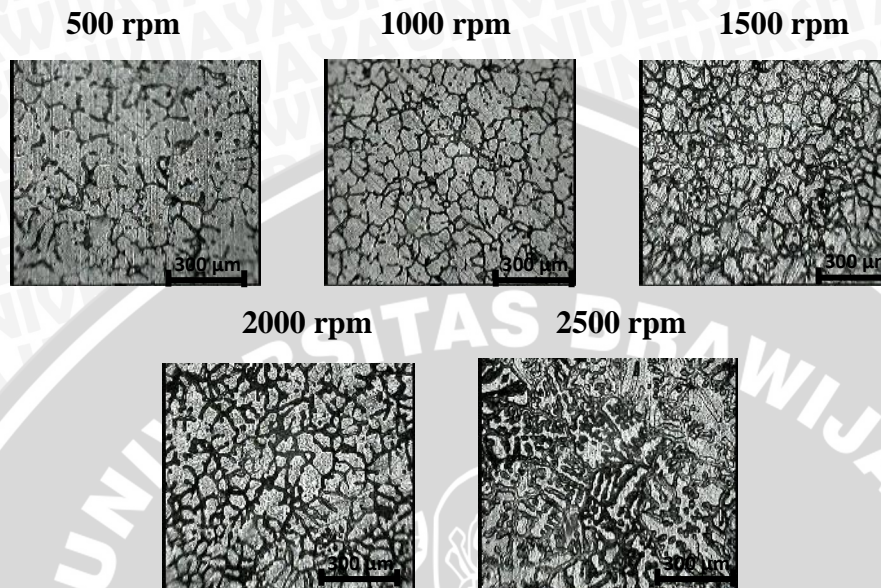


Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan (rpm) Terhadap Kekuatan Puntir (MPa)

Pada grafik hubungan antara kecepatan putar dan kekuatan puntir aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil pengecoran sentrifugal (gambar 4.3) dapat dilihat bahwa terjadinya kenaikan kekuatan puntir yang diakibatkan oleh kenaikan kecepatan putar. Pada grafik tersebut peningkatan nilai kekuatan puntir yang cenderung naik sampai pada besar kekuatan puntir sebesar 252,34 MPa yang terjadi pada spesimen dengan kecepatan putar sebesar 1500 rpm dan kemudian turun sampai besar kekuatan puntir sebesar 231,74 MPa yang terjadi pada spesimen dengan kecepatan putar 2500 rpm.

Peningkatan nilai kekuatan puntir ini disebabkan oleh adanya peningkatan gaya sentrifugal akibat dari meningkatnya kecepatan putar cetakan, semakin besar kecepatan putar maka gaya sentrifugal yang terjadi akan semakin besar sehingga akan mendesak logam cair ke dinding cetakan, sehingga pendinginannya akan semakin cepat dan butir tidak sempat berkembang dan waktu untuk pembentukan butir akan menjadi lebih singkat, selain itu adanya peningkatan gaya sentrifugal akan menyebabkan dendrit tidak sempat berkembang, sehingga butir akan menjadi lebih halus dan padat. Semakin kecil ukuran butir dan padat maka semakin merata tegangan yang diterima butir saat hasil coran menerima beban sehingga

kekuatan puntirnya akan meningkat. Ukuran butiran dapat dilihat pada hasil foto mikro (gambar 4.4).



Gambar 4.4 Foto Mikro Daerah Columnar Hasil Pengecoran Sentrifugal

Pada dasarnya ukuran butir akan mempengaruhi sifat mekanis dari suatu logam, dalam hal ini kekuatan puntir. Jika dilihat foto mikro pada gambar 4.4, ukuran butiran akan semakin kecil pada rentang kecepatan putar 500 rpm – 1500 rpm. Namun pada kecepatan putar 2000 rpm butiran kembali membesar hingga butiran menjadi tidak homogen pada kecepatan 2500 rpm.

Pada kecepatan putar 2000 rpm butiran kembali membesar disebabkan oleh pada kecepatan putar 200 rpm logam cair melewati celah dari cetakan langsung mengenai permukaan cetakan, sehingga butiran logam pada permukaan kecil dan padat tetapi butiran selanjutnya akan langsung membeku begitu batas butir mengenai butiran sebelumnya, akibatnya *columnar zone* dari spesimen 2000 rpm memiliki tingkat kepadatan yang lebih rendah dan menyebabkan rongga antar butir. Dengan tingkat kepadatan yang lebih rendah menyebabkan struktur butir yang terbentuk kembali membesar. Struktur butir yang besar ini mengakibatkan dislokasi antar butir semakin besar sehingga kekuatan mekanisnya menurun.

Semakin bertambahnya kecepatan putar yaitu pada kecepatan putar 2500 rpm aliran logam yang melewati logam cair menumbuk sangat keras pada permukaan cetakan. Hal ini mengakibatkan aliran logam cair didalam cetakan menjadi acak. Dengan acaknya aliran logam

cair ini mengakibatkan struktur butiran pada saat membeku menjadi tidak homogen seperti pada foto mikro pada gambar 4.4.



Gambar 4.5 Cacat permukaan pada spesimen uji puntir

