

PENGARUH FRAKSI BERAT Al_2O_3 DAN AL-SI TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO MATERIAL SEPATU REM HASIL PENGECORAN INJEKSI BERTEKANAN (HPDC)

*Anggi Taufik Nugraha¹, Athanasius Priharyoto Bayuseno²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: anggitaufik@yahoo.com

ABSTRACT

Nowdays of the use of the brake shoe is increasing along with the numbers of a population motorcycle. Brake shoe are made with materials Al-Si/ Al_2O_3 through the increasing high pressure die casting process. In this study, raw material ADC12 of a product PT. Pinjaya Metals is selected, Mojokerto and added by alumina particles (Al_2O_3) to improve the mechanical properties. Parameters investigated is a variant additional composition Al_2O_3 5 %, 10 % and 15 % in liquid Al-Si. Characterization materiel conducted include porosity tests, hardness tests, and micro structure test of Al-Si brake shoes product using HPDC process with the addition of elemental alumina (Al_2O_3). The addition of elemental Al_2O_3 done through the process of stirring for 1 minute at a speed of 160 rpm with pouring temperature 750°C.

The results of porosity test show that the porosity increased is obtained for composition Al_2O_3 at 5 % is 19.04 %, a composition at 10 % is 14.35 % and in composition at 15 % is 20.52 %. The hardness increases with increasing Al_2O_3 composition. The results of hardness test show that the hardness product in the increasing at composition Al_2O_3 at 5 % is 50.91 HRB, a composition at 10 % is 51.11 HRB and in composition at 15 % is 51.61 HRB. Hardness most low on the composition of 5 % it is caused by the presence of porosity defects.

Keywords: HPDC, Al-Si, Al_2O_3 , Porosity

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi di Indonesia mengalami perkembangan yang cukup cepat, dimana perkembangan ini berdampak pada semakin majunya kegiatan industri diberbagai bidang, salah satunya adalah industri kendaraan bermotor. Pertumbuhan industri kendaraan bermotor di Indonesia dapat dikatakan memiliki prospek yang cukup baik karena permintaan masyarakat sangat tinggi.

Dewasa ini kebutuhan penggunaan sepatu rem semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sepeda motor. Produksi sepatu rem tidak hanya dilakukan oleh industri besar tetapi juga dilakukan oleh industri kecil maupun menengah. Akan tetapi kendala yang dialami oleh industri kecil maupun menengah saat ini adalah persaingan dengan industri besar yang cukup ketat dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang pengecoran logam.

Salah satu bagian dari piranti penghenti laju kendaraan bermotor adalah sepatu rem yang berfungsi sebagai tempat kampas rem. Akan tetapi dari segi kualitas dan volume produksi, industri kecil menengah kurang dapat bersaing dengan industri besar dikarenakan keterbatasan pengetahuan dibidang pengecoran logam.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan di teliti kekerasan dan struktur mikro dari sepatu rem dengan bahan dasar Al-Si yang ditambah dengan serbuk Al_2O_3 dengan fraksi berat menggunakan alat *stir casting*,

pembentukannya melalui proses pengecoran injeksi bertekanan HPDC (*High Pressure Die Casting*).

Penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian antara lain pengujian kekerasan, perhitungan porositas, pengujian densitas serta struktur mikro dari hasil pengecoran Al_2O_3 dengan Al-Si. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data struktur mikro, porositas dan kekerasan dari fraksi berat Al_2O_3 dan Al-Si hasil pengecoran injeksi bertekanan (HPDC). Sehingga hasil penelitian yang telah dilakukan dapat bermanfaat bagi industri komponen otomotif terutama industri sepatu rem sepeda motor.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Karakteristik Sepatu Rem

Rem merupakan salah satu komponen mesin mekanik yang sangat vital keberadaannya. Rem berfungsi mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan melalui gesekan antara sepatu rem dengan tromol dengan mekanisme tertentu. Salah satu komponen pada rem yang memiliki peran sangat penting dalam sistem pengereman adalah sepatu rem. Sepatu rem berbentuk busur yang disesuaikan dengan lingkaran drum dan dilengkapi dengan kanvas yang dikelilingi ataupun direkatkan pada bagian permukaan dalam sepatu rem. Salah satu ujung sepatu rem dihubungkan pada anchor pin atau pada baut silinder penyetel sepatu rem. Ujung lainnya dipasangkan pada

roda silinder yang berfungsi untuk mendorong sepatu ke drum dan juga sepatu rem ini berhubungan dengan mekanisme rem tangan [1]. Bentuk sepatu rem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sepatu Rem.

2.2 Aluminium Oksida (Al_2O_3)

Satu-satunya oksida aluminium adalah alumina (Al_2O_3). Terdapat dua bentuk anhidrat Al_2O_3 yaitu α - Al_2O_3 dan γ Al_2O_3 . Alumina adalah bahan baku utama dalam industry peleburan aluminium. Alumina ini berasal dari bermacam-macam bahan baku seperti: bauksit, dowsit, kaolinit, anorthosit, dan lain-lain. Karena sifat kekerasannya aluminium oksida dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong. Aluminium oksida berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap pengkaratan dengan udara. Bentuk wujud serbuk aluminium oksida bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Serbuk Aluminium Oksida.

2.3 Pengecoran HPDC

Proses ini merupakan proses pengecoran dimana logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*die*) dengan kecepatan dan tekanan tinggi. Tekanan yang diaplikasikan cukup tinggi (dapat mencapai 200 bar), sehingga gas-gas yang masih terperangkap dalam logam cair dapat keluar pada saat proses injeksi logam cair ke dalam cetakan. Pada umumnya, baik mesin maupun cetakan pada proses *high pressure die casting* ini sangatlah mahal, sehingga proses ini akan bernilai ekonomis untuk proses produksi dalam jumlah besar [2]. Mesin *high pressure die casting* terdiri atas 2 plat vertikal dimana *bolster* ditempatkan untuk menyanggah cetakan. Tampilan alat mesin HPDC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Mesin HPDC.

2.4 Karakteristik Al-Si (ADC12)

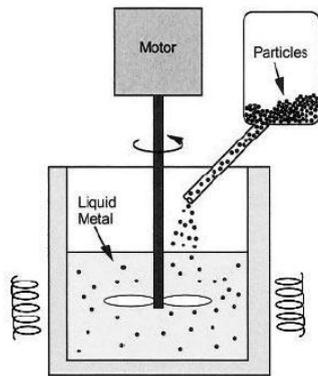
Berdasarkan pada komposisi paduan, material Al-Si dapat dikelompokkan kedalam paduan aluminium ingot untuk *die casting* kelas 12 berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) JIS 2118-2006. dimana komposisi unsurnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi paduan aluminium *die casting* kelas 12.

Unsur	Prosen Berat (wt %)
Si	9,6-12,0
Fe	0.83
Cu	1,5-3,5
Mn	0.092
Mg	Maks 0,3
Zn	Maks 1,0
Ni	Maks 0,5
Sb	< 0.000
Sr	< 0.000
Cr	-
Pb	Maks 0,1
Sn	Maks 0.03
Ti	Maks 0,03
Be	< 0.001
Ca	0.002
Na	< 0.001
Al	Sisa

2.5 Metode Stir Casting

Metode *stir casting* merupakan proses utama dalam produksi material komposit, dimana material penguat disatukan bersama logam cair dengan cara diaduk (*stirring*). Dalam proses ini, campuran dilebur dan temperaturnya dikontrol dengan menggunakan *thermocontroller*, lalu dimasukkan partikel penguatnya. Adanya *vortex* pada saat proses pengadukan menyebabkan partikel partikel penguat yang ringan terdispersi merata dalam matriks sampai campuran tersebut dipindah kedalam cawan tuang dan dituang kedalam cetakan permanen [3].

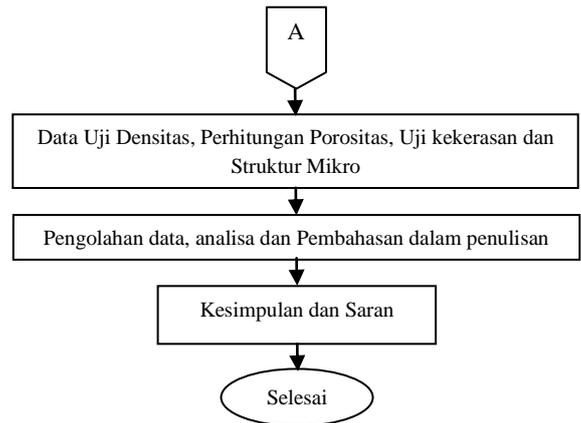
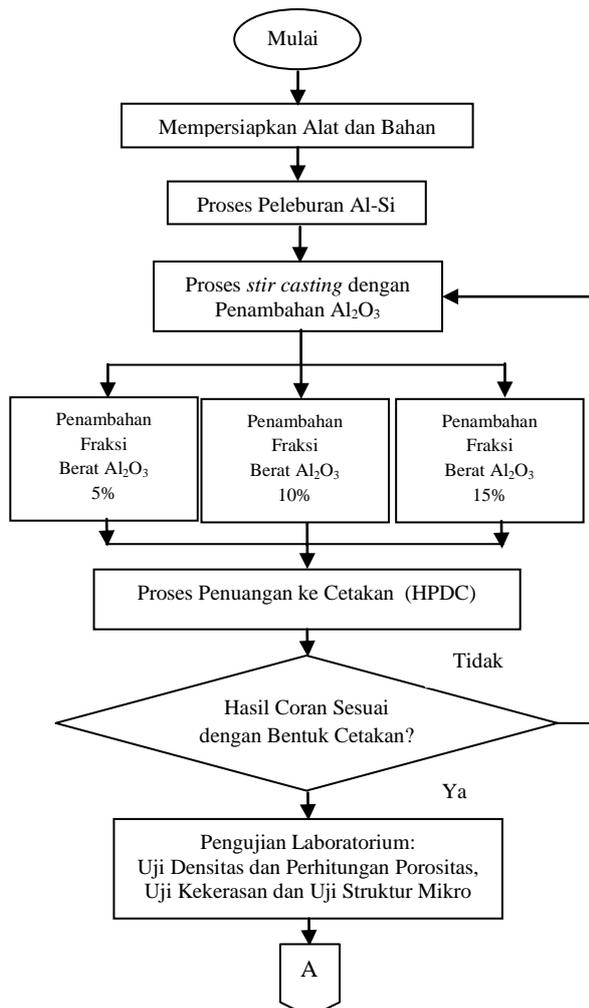


Gambar 4. Skema Proses *Stir Casting*.

Keuntungan dari proses ini adalah mampu untuk menggabungkan partikel penguat yang memiliki kemampuan membasahi (*wetability*) yang rendah. Bahan yang tidak terbatas tersebut dapat terdispersi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel padatan terperangkap dalam logam cair. Secara skematis rangkaian proses dan peralatan yang digunakan dalam proses *stir casting*, dapat dilihat pada Gambar 4.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.

3.2 Bahan Uji

Seperti yang ditunjukkan pada Pada Gambar 5 Al-Si batangan telah dipotong guna mempermudah pada saat penimbangan sesuai dengan variasi massa yang diinginkan dan mempercepat pada proses peleburan. Al-Si batangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dibeli dari PT. Pinjaya Logam, Mojokerto, Jawa Timur.



Gambar 6. Al-Si (ADC12) Batangan.

Serbuk Aluminium Oksida (Al_2O_3) dicampurkan secara perlahan dengan Al-Si ketika sudah mencair. Proses pencampuran dan pengadukan dilakukan dengan proses *stir cast*. Serbuk Aluminium Oksida seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 yang dibeli dari toko kimia MKR, Semarang.

Al-Si dileburkan diatas titik leleh dengan temperatur konstan sekitar $750^{\circ}C$. Al-Si yang telah mencair di dalam kowi kemudian diaduk melalui proses *stir casting* dengan kecepatan sebesar 160 rpm, hingga membentuk pusran. Aluminium oksida ditambahkan ke dalam kowi berisi Al-Si yang telah mencair dan terbentuk pusran. Temperatur ditahan sebesar $750^{\circ}C$ dan waktu pengadukan 1 menit. Parameter yang diatur ketika proses *Stir Casting* adalah variasi penambahan massa aluminium oksida (Al_2O_3) 5 wt%, 10 wt% dan 15 wt% dari berat Al-Si. Proses *Stir Casting* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses *Stir Casting*.

Perhitungan porositas dilakukan untuk mengetahui nilai porositas dari spesimen uji. Untuk mengetahui nilai porositas, maka pertama kali dilakukan pengujian densitas. Alat uji densitas yang digunakan adalah neraca digital merk sarforious. Tahapan dalam pengujian densitas adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan spesimen uji, neraca digital, gelas, dan benang.
- 2) Memotong sepotong rem pada sisi bagian kanan, tengah, dan kiri.
- 3) Mengkalibrasi neraca digital supaya tepat dititik nol.
- 4) Memasukkan spesimen uji kering meliputi bagian kanan, tengah, dan kiri.
- 5) Mengulangi penimbangan sampai tiga kali setiap bagian untuk diambil massa rata-rata.
- 6) Mencatat angka massa yang ditunjukkan di neraca digital
- 7) Memasukkan sampel kering ke dalam gelas berisi air meliputi bagian kanan, tengah, dan kiri.
- 8) Mengulangi penimbangan di dalam air sampai tiga kali setiap bagian untuk diambil massa rata-rata.
- 9) Mencatat angka massa yang ditunjukkan di neraca digital.

Setelah didapatkan data massa sampel kering dan massa sampel basah dari spesimen uji, maka dapat diketahui besarnya densitas aktual dari spesimen uji tersebut. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM C 134-95. Untuk menghitung nilai densitas aktual digunakan Persamaan (1) sedangkan untuk menghitung nilai densitas teoritis digunakan Persamaan (2) [4].

a. Densitas aktual:

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times H_2O \dots\dots\dots(1)$$

b. Densitas teoritis (total):

$$\rho_{th} = \rho_{Al-Si} \cdot V_{Al-Si} + \rho_{Alumina} \cdot V_{Alumina} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- ρ_m : densitas aktual (gram/cm³)
- m_s : massa sampel kering (gram)
- m_g : massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
- ρ_{H_2O} : massa jenis air = 1 gram/cm³
- ρ_{th} : densitas teoritis (gram/cm³)
- ρ_{Al-Si} : densitas Al-Si (gram/cm³)
- $\rho_{Alumina}$: densitas Al₂O₃ (gram/cm³)
- V_{Al-Si} : fraksi volume Al-Si (gram)
- $V_{Alumina}$: fraksi volume Al₂O₃ (gram)

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan (3) [20].

$$Porosity = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}} \dots\dots\dots(3)$$

3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell* dengan skala B (HRB) dengan beban mayor 100 kgf dan indenter yang digunakan adalah *steel ball 1/16"*. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP. Metode *Rockwell* termasuk salah satu metode pengukuran kekerasan berdasarkan lekukan. Dalam metode ini penetrator ditekan dalam spesimen uji. nilai kekerasan diperoleh dari perbedaan kedalaman beban mayor dan minor. Jadi, nilai kekerasan didasarkan pada kedalaman bekas penekanan. Pengujian ini dilakukan dengan menguji kekerasan spesimen uji pada 6 titik.



Gambar 8. *Rockwell Hardness Tester*.

3.4 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui distribusi partikel Al₂O₃ di dalam matrik ADC12 dan untuk melihat struktur mikro yang dihasilkan masing - masing spesimen uji. Pengujian struktur mikro dilakukan setelah spesimen uji mengalami proses pengamplasan. Kemudian dilakukan *polishing* dengan menggunakan kain beludru dan

autosol hingga permukaan spesimen uji mengkilap tanpa ada goresan. Setelah dilakukan *polishing*, kemudian dilakukan *etching* untuk memberi pewarnaan pada permukaan spesimen uji sehingga batas butir dari spesimen uji akan terlihat lebih jelas. *Etching* dilakukan dengan menggunakan larutan Keller's yaitu 2,5 ml HNO_3 + 1 ml HF + 1,5 ml HCl + 95 ml aquades. Spesimen uji dicelupkan ke dalam larutan Keller's selama 20 detik, kemudian dibilas menggunakan air hangat dan dibiarkan selama 12 jam. Setelah proses *etching*, dilakukan pengamatan spesimen uji menggunakan mikroskop metalurgi dengan perbesaran 1000X. Proses pengujian stuktur mikro diperlihatkan pada Gambar 9.

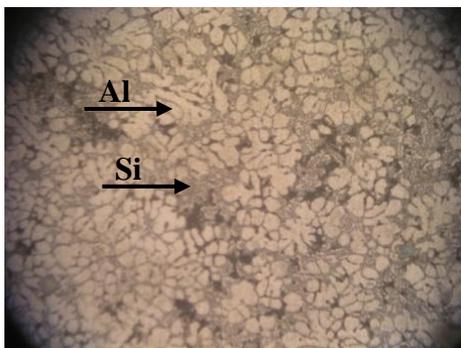


Gambar 9. Pengujian Struktur Mikro.

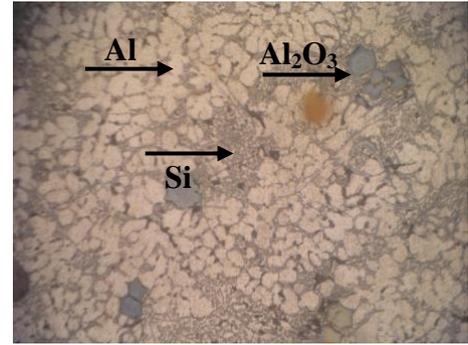
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro

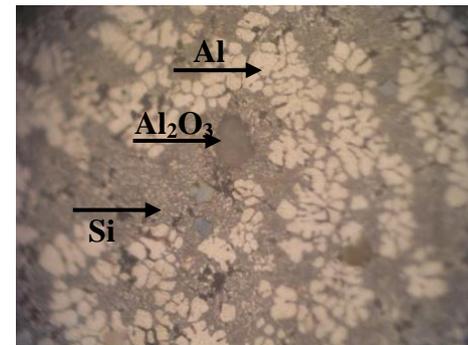
Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop metalurgi dengan perbesaran 1000X, dengan posisi pengujian yang berbeda, yaitu pada posisi kanan, tengah, dan kiri produk sepatu rem. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 10, 11 dan Gambar 12.



Gambar 10. Struktur Mikro dengan Fraksi Berat Al_2O_3 5% wt.



Gambar 11. Struktur Mikro dengan Fraksi Berat Al_2O_3 10% wt.

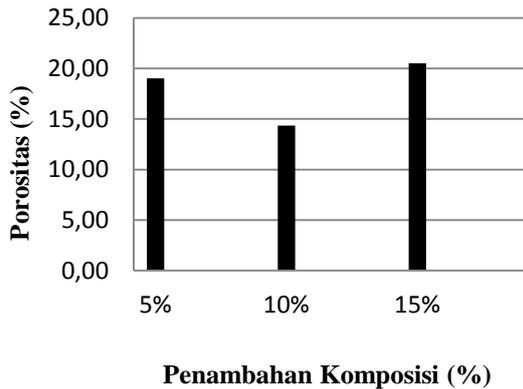


Gambar 12. Struktur Mikro dengan Fraksi Berat Al_2O_3 15% wt.

Pada Gambar 10, 11, dan 12 di atas terlihat bahwa warna terang adalah matrik aluminium, unsur Si berwarna gelap dengan struktur seperti akar-akar dan Al_2O_3 terlihat pada gumpalan keabuan. Dengan meningkatnya kandungan Al_2O_3 memungkinkan antar partikel Al_2O_3 saling kontak dan belum sepenuhnya terjadi sinter. Distribusi partikel Al_2O_3 terdapat perbedaan sesuai dengan fraksi berat Al_2O_3 yang ditambahkan, akan tetapi berat Al_2O_3 yang masuk ke dalam logam lebih kecil. Distribusi partikel Al_2O_3 pada berat 5% relatif tidak merata dibandingkan dengan berat 10% dan 15%. Akan tetapi partikel Al_2O_3 terlihat berkumpul dari beberapa butir partikel. Adanya penambahan partikel penguat Al_2O_3 dalam matrik Al-Si berpengaruh terhadap stuktur mikronya. Penggumpalan alumina menyebabkan partikel tidak tersebar merata dengan baik dan berpengaruh terhadap sifat mekanis yang dihasilkan terutama kekerasan.

4.2 Hasil Perhitungan Porositas

Dengan melakukan perhitungan maka didapatkan nilai porositas pada masing-masing spesimen. Spesimen dengan penambahan Al_2O_3 5% sebesar 19,04%, pada spesimen dengan penambahan Al_2O_3 10% sebesar 14,35% dan pada spesimen dengan penambahan Al_2O_3 15% sebesar 20,52%. Sebagai penjelasan lebih lanjut data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk kurva pada Gambar 13.

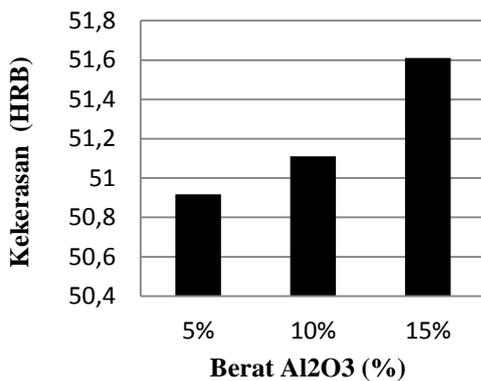


Gambar 13. Hasil Porositas Terhadap Penambahan Fraksi Berat Al_2O_3 .

Gambar 13 memperlihatkan hasil perhitungan porositas komposit Al-Si/ Al_2O_3 untuk masing masing penambahan fraksi berat Al_2O_3 . Penambahan partikel Al_2O_3 berpotensi menimbulkan porositas. Persentasi porositas meningkat dengan bertambahnya partikel Al_2O_3 yang ditambahkan meskipun pada berat 10% diperoleh porositas paling rendah, yaitu 14,35% sedangkan pada berat 15% menghasilkan persentasi tertinggi yaitu 20,52%. Porositas yang ada disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah terperangkapnya gas pada saat pengadukan dan uap air di permukaan partikel (pemanasan partikel yang kurang sempurna).

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan Al-Si/ Al_2O_3 dengan fraksi berat Al_2O_3 dapat disajikan pada Gambar 14.



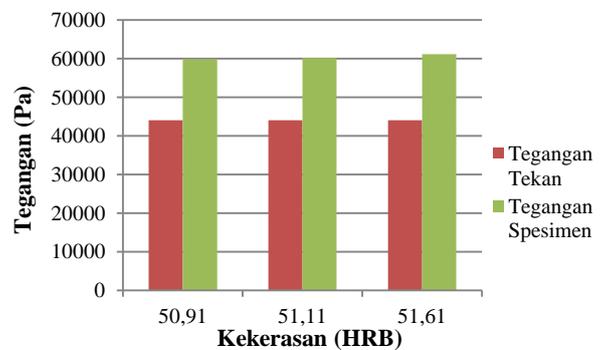
Gambar 14. Hasil Nilai Kekerasan Rata – Rata Terhadap Penambahan Fraksi Berat Al_2O_3 .

Hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 14. terlihat bahwa dengan bertambahnya fraksi berat Al_2O_3 dapat meningkatkan nilai kekerasan. Adanya bahan penguat Al_2O_3 dapat meningkatkan kekerasan matrik Al. Kekerasan sampel uji fraksi berat 5%, 10% dan 15% masing-masing berturut-turut 50,91; 51,11; dan

51,61 skala HRB. Penambahan partikel penguat dalam hal ini Al_2O_3 dapat meningkatkan kekerasan matrik yang menunjukkan bahwa partikel Al_2O_3 dapat memperkuat komposit. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor penyebab kenaikan kekerasan yaitu *residual elastic stress*. Peningkatan fraksi volume Al_2O_3 pada komposit Al-Si/ Al_2O_3 dengan metode *stir casting* secara linier dapat meningkatkan kekerasan. Kekerasan naik disebabkan karena adanya partikel penguat yang lebih keras dibanding matrik.

4.4 Hasil Perhitungan Gaya dan Tegangan Sepatu Rem Terhadap Kekerasan Al-Si/ Al_2O_3

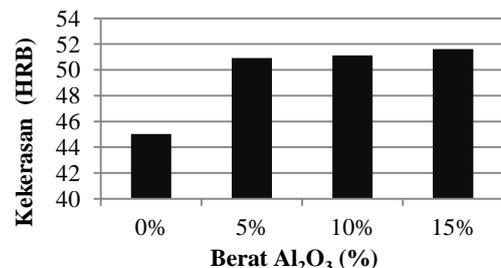
Perhitungan gaya dan tegangan sepatu rem terhadap kekerasan Al-Si/ Al_2O_3 hasil HPDC dengan fraksi berat 5%, 10% dan 15% dilakukan dengan mengkonversi nilai kekerasan skala HRB ke tegangan mekanis (σ), asumsi torsi 10 N dan jari - jari sebesar 8,5 m diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Tekan dengan Tegangan Spesimen

4.5 Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Al-Si/ Al_2O_3 dan Al-Si Tanpa Penambahan Al_2O_3

Pengujian kekerasan produk sepatu rem Al-Si tanpa penambahan partikel Al_2O_3 telah dilakukan oleh Nasrudin Arif [5]. Produk sepatu rem yang akan dibandingkan adalah produk sepatu rem dengan temperatur tuangnya sebesar $750^{\circ}C$. Ada tiga posisi pengujian yaitu bagian kanan, tengah, dan kiri. Pada bagian kanan rata-rata nilai kekerasan sebesar 44,50, bagian tengah nilai kekerasannya sebesar 46,83, dan pada bagian kiri nilai kekerasannya sebesar 43,75. Hasil pengujian dapat dilihat pada grafik Gambar 16.



Gambar 16. Perbandingan Nilai Hasil Kekerasan AlSi/ Al_2O_3 .

Pada Gambar 16 memperlihatkan nilai rata-rata kekerasan perbandingan nilai hasil kekerasan Al-Si tanpa penambahan dan Al-Si dengan penambahan Al_2O_3 . Kekerasan meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi berat partikel Al_2O_3 . Kekerasan spesimen Al-Si tanpa penambahan Al_2O_3 sebesar 45,03 dan Al-Si dengan penambahan Al_2O_3 pada 15% memberikan pengaruh kekuatan mekanik yang signifikan yaitu sebesar 51,61 HRB. Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad W. Wildan, Toto Rusianto dan Heru SB [4] memperlihatkan bahwa pengaruh penambahan penguat dalam hal ini Al_2O_3 akan meningkatkan nilai kekerasan. Peningkatan kekerasan tersebut disebabkan oleh partikel Al_2O_3 mempunyai kekerasan (1800-2000HV) jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan logam paduan Al-Si.

5. KESIMPULAN

- 1) Struktur mikro Al_2O_3 memiliki distribusi partikel relatif tidak merata atau kurang homogen. Partikel Al_2O_3 mengalami penggumpalan yang berdampak negatif terhadap karakteristik mekanisnya.
- 2) Porositas paling tinggi diperoleh pada penambahan fraksi berat 15% sebesar 20,52%. Tingginya nilai porositas mengakibatkan nilai densitas cenderung menurun.
- 3) Semakin tinggi fraksi berat partikel Al_2O_3 maka semakin tinggi kekerasannya. Kekerasan paling rendah pada penambahan fraksi berat pada 5% sebesar 50,91 HRB, hal ini disebabkan oleh adanya cacat porositas.

6. REFERENSI

- [1] Jama, J., dkk, 2008, *Teknik Sepeda Motor Jilid 2 untuk SMK*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta.
- [2] Callister, D.W.J., 1994, *Material Science and Engineering*, 7th Edition, John Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- [3] Mulyanti, J., 2011, *Pengaruh Temperatur Proses Aging Terhadap Karakteristik Material Komposit Logam Al-Sic Hasil Stircasting*, Jurnal kompetensi Teknik, Volume 2, No 2, pp .95-104.
- [4] Daoud, A., El-Khair, M.T.A., and Abdel-Azim, A.N., 2004, *Effect of Al_2O_3 Particles on The Microstructure and Sliding Wear of 7075 Al Alloy manufactured by Squeeze Casting Method*. Jurnal of Materials Engineering and Performance. Volume 13(2) : pp. 135-143.
- [5] Chamdani. N.A., 2012, *Penggunaan ADC 12 sebagai Material Sepatu Rem dengan Menggunakan Pengecoran High Pressure Die Casting*, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Prof. Dr. rer. nat. Ir. A. P. Bayuseno, M.Sc. Dosen dari Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas segala bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.