

Pengaruh Kecepatan Putar Pada Proses Pengecoran Aluminium Centrifugal

Soejono Tjitro

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra
Email : stjitro@peter.petra.ac.id

Sugiharto

Alumni Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra

Abstrak

Salah satu metode dalam proses pengecoran adalah pengecoran centrifugal yang pada umumnya digunakan untuk menghasilkan benda berbentuk silinder atau benda kerja yang simetris pada cetakan yang berputar. Oleh karena itu perlu dikaji lebih lanjut tentang pengaruh variasi kecepatan putar cetakan terhadap kualitas pengecoran aluminium yang meliputi sifat mekanik (kekerasan) dan struktur mikro. Variasi kecepatan yang dipilih sebesar 150 rpm, 180 rpm dan 200 rpm.

Percobaan dilakukan dengan melihat hasil struktur mikro yang dihasilkan pada setiap variasi putaran terutama bagian penampang melintang produk cor. Selanjutnya dapat dilakukan pembahasan mengenai hubungan struktur mikro terhadap angka kekerasan setiap variasi putaran tersebut.

Pada pengamatan struktur mikro, bentuk butir yang dihasilkan pengecoran centrifugal secara umum berbentuk equiaxed dan columnar dengan orientasi kemiringan sesuai dengan arah putaran mesin. Dari hasil uji kekerasan Vickers, terlihat bahwa variasi putaran 200 rpm menunjukkan angka kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan variasi putaran lainnya.

Kata kunci: pengecoran centrifugal, aluminium, kekerasan, struktur mikro.

Abstract

One of the methods in casting process is centrifugal casting. Generally, it is used to make a product in the form of cylinder or symmetric on spin mold. Thus, it is necessary to discuss further about the influence of rotation velocity variation on the quality of Aluminum casting product that enwrap mechanical characteristic and micro structure. The velocity variations that chosen are 150 rpm, 180 rpm and 200 rpm.

This experiment is executed by looking at micro structure that is produced on each rotation variation especially the part of cross section of casting product. Then, it can be done a discussion about micro structure relation towards the hardness number on each rotation variation.

In the observation of micro structure, grain structure that is produced by centrifugal casting is generally equiaxed and columnar with the orientation of direction in accordance with the direction of machine velocity. From the result of Vickers hardness test, it can be seen that rotation variation on 200 rpm show higher hardness number rather than another rotation variation.

Keywords: centrifugal casting, aluminum, hardness, microstructures.

1. Pendahuluan

Penggunaan poros pejal (*billet*) atau poros berlubang (*shape hollow*) di beberapa bengkel konstruksi (*workshop*) cukup banyak. Bahan *semi-finished* ini digunakan untuk membuat komponen mekanik seperti poros pendukung.

Sebagian besar bahan *semi-finished* (*billet*) tersebut diproduksi dengan *continuous casting* atau *extrusion* (ekstrusi). Panjang *billet* ber-

kisar 5-6 meter. Sedangkan bengkel konstruksi skala kecil sering membutuhkan *billet* dengan panjang kurang dari 1,5 meter. Hal ini tentunya merupakan peluang industri kecil untuk menyediakan bahan baku *billet* tersebut dengan biaya investasi dan teknologi tidak terlalu tinggi.

Untuk menyediakan *billet* (*shape hollow*) dengan panjang kurang dari 1,5 m, penulis mengusulkan untuk memproduksi *billet* tersebut dengan proses pengecoran cetakan pasir atau pengecoran centrifugal. Pada makalah ini akan menjabarkan proses pembuatan *billet* (*shape hollow*) dengan pengecoran centrifugal serta menganalisis pengaruh variasi kecepatan

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 September 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 6 Nomor 2 Oktober 2004.

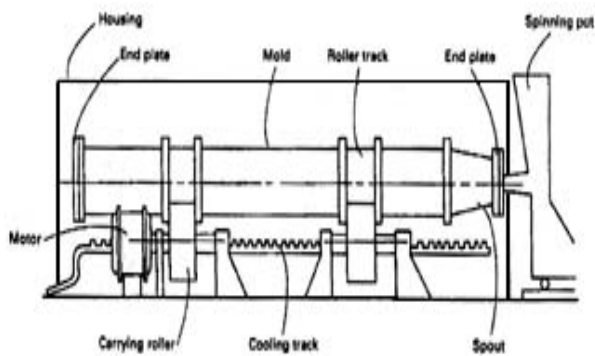
putar terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro billet.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengecoran Centrifugal

True centrifugal casting merupakan salah satu proses pengecoran yang menghasilkan produk cor berbentuk silinder dengan cara memutar cetakan pada sumbu. Proses pengecoran dapat dilakukan secara vertikal maupun horizontal tanpa menggunakan inti (core). Produk cor yang dihasilkan dengan metode ini mempunyai arah pembekuan yang terarah (*directional solidification*) dari bagian diameter luar menuju ke diameter dalam, sehingga menghasilkan produk cor yang bebas dari cacat pengecoran terutama *shrinkage* yang paling sering dijumpai pada proses *sand casting* [2].

Cetakan yang digunakan untuk pengecoran centrifugal terdiri dari 4 bagian yaitu: dinding, saluran penuangan, *roller tracks* dan kepala penutup ujung (*end plate*). Cetakan ditempatkan pada sebuah *carrying roller* yang dapat diganti dan disetel. Sehingga untuk diameter cetakan yang berbeda, hanya mengatur dan menyatel *carrying roller*. Gambar 1 memperlihatkan mesin horizontal centrifugal.



Gambar 1. Mesin Horizontal Centrifugal Casting [2]

Berdasarkan bahannya, cetakan dapat dibagi menjadi dua, yaitu *expendable mold* (cetakan yang bersifat sementara) dan *permanent mold*. *Expendable Molds* merupakan sebuah cetakan yang relatif tipis dilapisi dengan pasir. Pada umumnya cetakan ini digunakan pada proses pengecoran dengan jumlah produk yang relatif kecil.

Kelemahan cetakan pasir yaitu pada saat penuangan logam cair, sistem insulasi yang alami dari pasir mencegah proses pembekuan terarah (*directional solidification*). Oleh karena

itu pembekuan logam dari dinding cetakan dan dari bagian dalam silinder terjadi secara bersamaan. Hal ini dapat menimbulkan 'bunga karang' dan kepadatan yang rendah pada bagian tengah produk coran.

Secara umum *permanent molds* terbuat dari material seperti baja, tembaga dan grafit. Pelapisan cetakan juga penting dalam mengatur laju pembekuan dari beberapa material coran. Pelapisan dengan menggunakan keramik sudah banyak diterapkan.

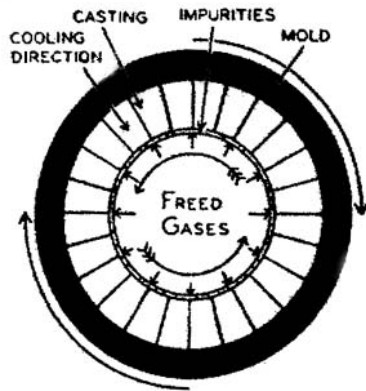
Copper mold seringkali digunakan untuk cetakan permanen karena sifatnya yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi. Cetakan tembaga ini memerlukan biaya yang relatif tinggi dan terdapat kesulitan dalam mengkalkulasikan dimensi yang akurat, oleh karena itu penggunaannya sangat terbatas.

Graphite mold umumnya digunakan karena biayanya yang relatif rendah. Selain itu cetakan grafit dapat digunakan sebagai alternatif untuk menggantikan pasir dengan jumlah produk yang kecil dan secara ekonomi masih memungkinkan. Grafit mempunyai sifat konduktivitas termal yang sangat baik dan ketahanan terhadap gradien suhu yang tinggi dan kemudahannya dalam proses permesinan. Kekurangan dari cetakan jenis ini adalah mudah teroksidasi.

2.2 Teknik Penuangan dan Kecepatan Putar

Pada proses penuangan (*pouring*), logam cair dapat dituangkan melalui salah satu ujung cetakan, kedua ujung cetakan atau sepanjang saluran yang memiliki panjang yang tidak dapat ditentukan. Laju penuangan sangat bervariasi tergantung dari ukuran benda coran yang akan dibuat dan jenis cairan logam yang digunakan. Laju penuangan yang terlalu lambat akan menghasilkan formasi bertumpuk dan porositas gas, dimana laju pembekuan yang sangat lambat merupakan salah satu penyebab terjadinya keretakan ke arah longitudinal.

Pada pengecoran dengan temperatur yang tinggi memerlukan kecepatan putar yang lebih tinggi untuk menghindari terjadinya *sliding*. Sedangkan untuk temperatur pengecoran yang rendah akan menyebabkan permukaan coran bertumpuk dan adanya porositas gas. Temperatur pengecoran juga mempengaruhi laju pembekuan dan jumlah segregasi yang terjadi.



Gambar 2. Prinsip pengecoran *Horizontal Pengecoran Centrifugal*

Pengaturan kecepatan putar proses pengecoran centrifugal dapat dibagi menjadi tiga bagian :

- Pada saat proses penuangan, cetakan diputar pada kecepatan yang cukup untuk melontarkan logam cair ke dinding cetakan.
- Pada saat logam mencapai ujung cetakan yang lain, kecepatan putar ditingkatkan.
- Kecepatan putar dipertahankan konstan selama beberapa waktu setelah penuangan. Kecepatan putar yang konstan tersebut tergantung dari jenis cetakan, logam yang akan dicor dan ketebalan dinding yang dibutuhkan.

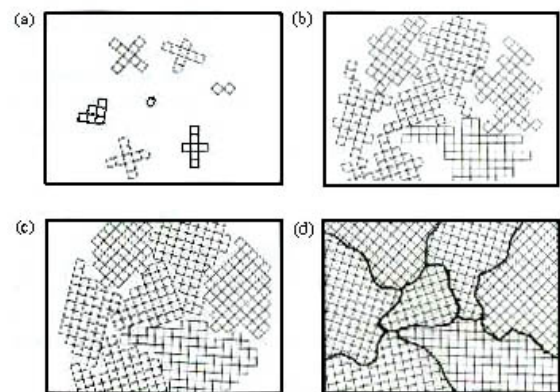
Kecepatan putar yang ideal akan menghasilkan gaya adhesi yang cukup besar antara logam cair dengan dinding cetakan dengan getaran yang minimal. Kondisi seperti ini dapat menghasilkan sebuah benda coran dengan struktur yang lebih seragam.

Pada saat logam cair memasuki cetakan, gradien tekanan yang terbentuk melintasi ketebalan lapisan dengan kecepatan centrifugal. Hal ini menyebabkan partikel yang lebih ringan seperti slag dan *impurities nonmetal* berkumpul pada diameter dalam benda coran. Ketebalan yang terbentuk dari sekelompok *impurities* ini terbatas sekitar beberapa milimeter dan mudah dihilangkan dengan proses permesinan.

Kecepatan putar yang terlalu rendah dapat mengakibatkan *sliding* dan menghasilkan permukaan akhir yang kurang baik. Sedangkan kecepatan putar yang terlalu tinggi dapat menimbulkan getaran, dimana dapat menghasilkan segregasi melingkar. Selain itu kecepatan putar yang terlalu tinggi dapat meningkatkan tegangan melingkar yang cukup tinggi, sehingga dapat menyebabkan cacat *cleavage* secara radial atau retakan secara melingkar ketika logam mengalami penyusutan selama proses pembekuan.

2.3 Pembekuan Logam Cair

Pembekuan logam cair dimulai dengan bertumbuhnya inti-inti kristal seperti pada gambar 3a. Kemudian kristal-kristal tumbuh disekeliling inti tersebut dan pada saat yang sama inti lain yang baru timbul, begitu seterusnya sampai logam cair membeku seperti pada gambar 3b. Pertumbuhan kristal tersebut terjadi secara acak dan ketika sebuah kristal bersentuhan dengan kristal yang lain, pertumbuhan kedua kristal tersebut terhenti seperti pada gambar 3c dan permukaan dimana kristal-kristal bertemu dinamakan batas butir (*grain boundaries*) seperti pada gambar 3d.



Gambar 3. Pertumbuhan Butir

Ukuran butir tergantung pada laju pendinginan dan pertumbuhan inti. Apabila laju pertumbuhan lebih besar dari laju pendinginan, maka didapat struktur butir yang besar (*coarse grains*) dan kalau laju pendinginan lebih besar dari laju pertumbuhan, maka didapat struktur butir yang halus (*fine grains*). Secara umum struktur butir halus menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dari struktur butir kasar.

3. Prosedur Penelitian

3.1 Persiapan Mesin Centrifugal

Sebelum proses peleburan logam, dilakukan beberapa persiapan pada mesin centrifugal seperti pada gambar 4, antara lain:

- Memutar mesin centrifugal pada putaran yang diinginkan. Variabel putaran yang digunakan pada penelitian ini adalah 150, 180, 200 rpm.
- Melakukan pelapisan pada saluran masuk menggunakan pasir cetak dengan campuran pasir silika, bentonite, *water glass* dan air. Pelapisan dilakukan dengan tujuan menghindari gradien temperatur yang besar pada

saat logam cair menyentuh saluran masuk yang terbuat dari besi. Pelapisan ulang dilakukan setelah penuangan cairan logam sebanyak 3 kali.

- Setelah pelapisan saluran masuk selesai, dilakukan pemasangan dan *setting* pada mesin centrifugal. Saluran masuk diatur dengan kemiringan tertentu agar mempercepat laju aliran logam cair saat memasuki cetakan dan dapat bergerak maju dan mundur sesuai panjang benda yang akan dicor.
- Melakukan *pre-heating* saluran masuk hingga mencapai temperatur sekitar 300°C.



Gambar 4. Mesin Centrifugal Casting

3.2 Persiapan Cetakan Logam

Cetakan yang digunakan merupakan jenis cetakan permanen (*permanent mold*). Cetakan logam yang digunakan terbuat dari bahan ST 42, dengan diameter dalam 158 mm dan panjang 550 mm seperti pada gambar 5.

Cetakan logam ditempatkan pada bagian *housing* seperti pada gambar 4. Sebelum cetakan dimasukkan, cetakan dilakukan *pre-heating* terlebih dahulu sampai temperatur mencapai sekitar $\pm 300^\circ \text{C}$. Hal ini dilakukan untuk mengurangi terjadinya perbedaan temperatur yang terlalu tinggi dengan cairan logam saat memasuki cetakan. Pelapisan cetakan (*coating*) dilakukan untuk menghindari menyatunya produk coran dengan cetakan logam pada saat proses pembekuan. Jenis pelapisan yang digunakan adalah molybdenum cair yang disemprotkan sepanjang bagian diameter dalam cetakan logam. Selain itu cetakan logam juga telah dibentuk tirus dengan kemiringan sekitar 1° pada diameter dalam, hal ini dilakukan untuk memudahkan proses pengeluaran produk coran. Setelah itu cetakan logam siap dimasukkan ke dalam mesin centrifugal.



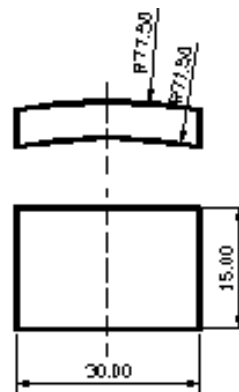
Gambar 5. Cetakan Logam

3.3 Penuangan Logam Cair

Logam cair yang digunakan adalah aluminium seri 1000. Pemilihan bahan ini didasarkan atas pertimbangan kepentingan penelitian selanjutnya untuk mengkaji dan membandingkan terhadap hasil peneliti sebelumnya^[7]. Temperatur tuang yang digunakan sebesar 790°C. Setiap variasi putaran dilakukan pengambilan sampel sebanyak 4 produk coran. Replikasi yang digunakan sebanyak 2 kali.

3.4 Uji Struktur Mikro dan Kekerasan

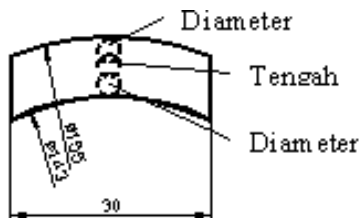
Uji struktur mikro spesimen dilakukan pada bagian penampang melintang yang meliputi diameter luar, tengah dan diameter dalam, seperti yang ditunjukkan gambar 6. Lokasi uji ini dipilih karena ada kemungkinan posisi tersebut mengalami perubahan struktur mikro akibat gaya centrifugal dari putaran mesin. Selain itu juga dapat diakibatkan pengaruh proses pendinginan dari diameter luar, bagian yang bersentuhan dengan cetakan logam menuju ke diameter dalam, bagian yang bersentuhan dengan udara.



Gambar 6. Spesimen Uji

Perubahan struktur mikro dapat dilihat dari tiga aspek, yaitu perubahan ukuran butir, perbedaan bentuk butir serta perubahan orientasi butir. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 50x sesuai standar ASM, yang dianggap dapat mewakili struktur mikro secara keseluruhan tiap spesimen uji.

Untuk uji kekerasan Vickers, tiap spesimen diambil tiga posisi pengindentasian yang dianggap mewakili kekerasan secara keseluruhan tiap produk cor. Posisi pengindentasian adalah penampang melintang bagian diameter dalam, tengah dan diameter luar seperti pada gambar 7.

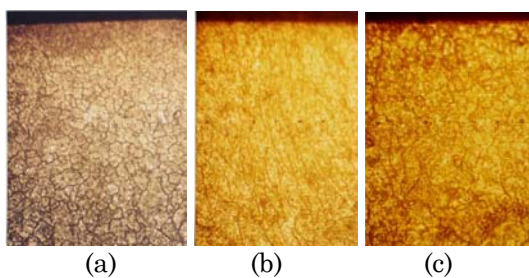


Gambar 7. Posisi indentasi

4. Hasil dan Pembahasan

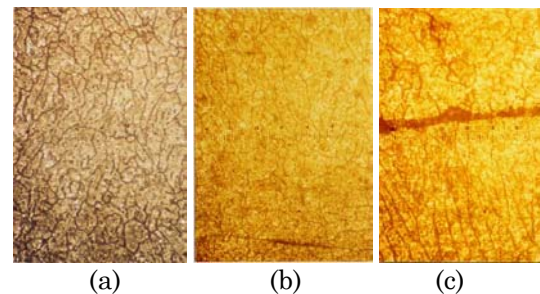
4.1 Struktur Mikro

Secara umum penampakan struktur mikro pada bagian diameter luar penampang melintang untuk tiap variasi putaran mayoritas memiliki bentuk butir *equiaxed*, halus (*fine grains*) seperti pada gambar 8. Bagian diameter luar merupakan bagian yang bersentuhan langsung dengan cetakan logam. Untuk variasi putaran 180 rpm tidak tampak adanya struktur *equiaxed* karena termakan akibat proses permesinan. Penampakan butir *equiaxed* disebabkan oleh karena pendinginan yang cepat akibat kontak dengan dinding cetakan, sehingga terbentuk sebuah lapisan tipis (*skin solidification*) dari cairan logam sesaat sesudah proses penuangan. Hal ini menyebabkan butir menjadi lebih halus karena tidak sempat berkembang, *equiaxed* dan tidak berorientasi. Jadi dapat dikatakan dengan meningkatnya laju pembekuan, pertumbuhan butir secara signifikan juga terhambat [1].



Gambar 8. Struktur mikro penampang melintang diameter luar *centrifugal casting* perbesaran 50x. (a) 150 rpm, (b) 180 rpm, (c) 200 rpm

Selama pendinginan, pertumbuhan butir pada bagian tengah diameter berlawanan arah terhadap perpindahan panas. Pertumbuhan butir ini dikenal sebagai pertumbuhan dendrit. Butir-butir sebagai hasil dari pertumbuhan dendrit, mempunyai orientasi paralel dengan aliran perpindahan panas dan tidak bergantung pada variasi putaran. Butir-butir yang terbentuk cenderung kasar dan berbentuk *columnar*. Struktur butir berbentuk *columnar* ini hampir dijumpai pada seluruh variasi putaran. Struktur ini dapat muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada logam coran saat proses pembekuan. Pada saat laju perpindahan panas berkurang, butir pada bagian tengah menjadi relatif lebih kasar (*coarse grains*). Struktur butir kasar ini diperlihatkan pada gambar 9.

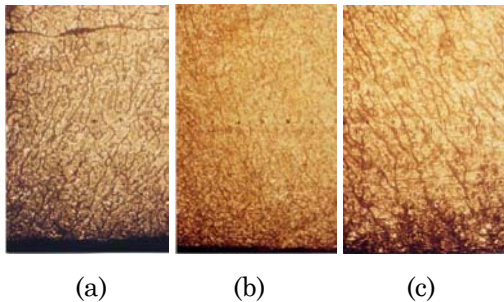


Gambar 9. Struktur mikro penampang melintang tengah diameter *centrifugal casting* perbesaran 50x. (a) 150 rpm, (b) 180 rpm, (c) 200 rpm.

Penampakan struktur mikro bagian diameter dalam pada tiap variasi putaran secara umum dijumpai struktur butir berbentuk *columnar*. Berbeda dengan butir *columnar* pada bagian tengah, butir *columnar* pada bagian diameter dalam tidak mempunyai orientasi paralel dengan perpindahan panas tetapi memiliki orientasi kemiringan tertentu sesuai dengan arah putaran mesin seperti pada gambar 10. Sehingga akibat putaran dan tegangan geser pada bagian diameter dalam maka pertumbuhan butir *columnar* mengalami perubahan orientasi. Namun perbedaan orientasi kemiringan pada tiap-tiap putaran tidak terlalu besar. Hal ini mungkin disebabkan perbedaan putaran yang dilakukan tidak signifikan.

Selain itu terdapat penampakan adanya suatu cacat berupa *cold shut* pada masing-masing variasi putaran. *Cold shut* ditandai dengan terbentuknya sebuah lapisan tipis akibat pertemuan dua logam cair yang membeku pada saat yang berbeda akibat penuangan yang tidak kontinu. Cacat *cold shut* dapat disebabkan dari logam cair yang memiliki temperatur terlalu rendah pada saat penuangan

atau proses penuangan yang terlalu lambat. Cacat *cold shut* tersebut dapat mempengaruhi angka kekerasan.



Gambar 10. Struktur mikro penampang melintang diameter dalam *centrifugal casting* perbesaran 50x. (a) 150 rpm, (b) 180 rpm, (c) 200 rpm

4.2 Kekerasan

Angka kekerasan pada bagian diameter dalam untuk setiap variasi putaran relatif lebih besar dibanding bagian yang lain. Hal ini disebabkan karena bagian diameter dalam untuk setiap variasi putaran mayoritas terdapat struktur butir berbentuk *columnar* yang terdeformasi akibat putaran mesin. Deformasi tersebut berhubungan dengan keterlibatan adanya dislokasi pada batas butir. Semakin besar deformasi atau dalam hal ini besar orientasi kemiringan maka semakin besar pula dislokasi yang terjadi pada struktur logam tersebut. Sehingga dengan semakin besar jumlah dislokasi yang terjadi kekuatan yang dihasilkan menjadi lebih baik, dimana dalam hal ini angka kekerasan juga meningkat [6].

Untuk variasi putaran 150 rpm dan 200 rpm terutama bagian diameter luar yang relatif memiliki struktur *equiaxed* halus, menghasilkan angka kekerasan yang tidak berbeda jauh dengan struktur *columnar* pada bagian dalam. Hal ini disebabkan karena ukuran butir yang semakin halus (kecil) mempunyai area batas butir per unit volume dari logam tersebut semakin besar pula, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari logam itu sendiri.

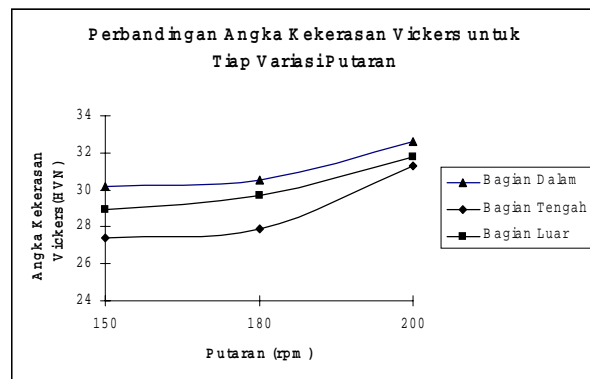
Untuk putaran 180 rpm dimana terdapat struktur *columnar* yang terdeformasi pada bagian diameter luar, menghasilkan angka kekerasan yang sedikit berbeda dibanding dengan variasi putaran lainnya dengan struktur *equiaxed*. Seperti dijelaskan sebelumnya, hal ini disebabkan karena deformasi berhubungan dengan keterlibatan adanya dislokasi, yang berpengaruh terhadap angka kekerasan.

Pada bagian tengah diameter untuk tiap variasi putaran relatif menghasilkan angka kekerasan yang lebih rendah daripada bagian yang lainnya. Hal ini dikarenakan oleh struktur

butir yang relatif kasar sehingga area batas butir per unit volumenya kecil sehingga mengakibatkan kekerasannya menurun.

Berdasarkan hasil uji kekerasan yang dihasilkan, maka dapat dilihat bahwa putaran 200 rpm menghasilkan angka kekerasan yang lebih tinggi dibanding dengan variasi putaran yang lainnya. Namun, secara umum perbedaan angka kekerasan tersebut tidak begitu signifikan.

Perbandingan angka kekerasan Vickers pada tiap variasi putaran dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik Rata-rata Angka Kekerasan untuk Tiap Variasi Putaran

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

- Orientasi pertumbuhan butir terutama pada bagian dalam mengalami pembelokan arah sesuai dengan arah putaran mesin *centrifugal*
- Deformasi butir yang terjadi pada bagian dalam menyebabkan meningkatnya angka kekerasan pada bagian ini.
- Struktur butir *equiaxed* terjadi pada bagian luar (bagian yang bersinggungan dengan dinding cetakan) dan butir tidak sempat berkembang karena pendinginan yang sangat cepat dan adanya gaya desak akibat gaya *centrifugal*.

Daftar Pustaka

1. Altenpohl, D., *Aluminum Viewed From Within*, Dusseldorf: Aluminum Verlag, 1982.
2. American Society for Materials, *Metal Handbook 9th edition Vol.15: Casting*, USA, ASM International, 1998.

3. Doyle, Lawrence E., Cark A. Keyser, *Manufacturing Processes and Materials for Engineers*, New Jersey: Prentice Hall Inc, 1985.
4. Higgins, Raymond A., *Engineering Metallurgy, Part 2: Metallurgical Process Technology*, Hongkong: ELBS, 1986.
5. Kim, S.E., Hyun, Y.T., et al, *Centrifugal Castability of TiAl Base Alloys*, Proceeding of the 1st Korea-Japan Conference for Young Foundry Engineers, 2001.
6. Dieter, G.E., *Mechanical Metallurgy*, 3rd Ed., New York: Mc Graw-Hill Company, 1986.
7. Suprpto, Agus, *Pengaruh Serbuk Rumah Kerang Laut Terhadap Kualitas Hasil Pengecoran Aluminium*, Jurnal Diagonal II No4., 2001, pp. 1-5.