

Modifikasi Alat Uji Fluiditas Metode Vakum Menggunakan Tungku Induksi

Modification of Vacuum Fluidity Test Using Induction Furnace

Is Prima Nanda⁽¹⁾ dan Agil Gibran⁽²⁾

^{(1),(2)} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, 25163. Indonesia
isprimananda@yahoo.com
agil.gibran@yahoo.co.id

Abstrak

Fluiditas adalah sifat mampu alir yang didefinisikan sebagai kemampuan logam cair untuk mengisi rongga-rongga cetakan pada proses pengecoran logam. Fluiditas dari suatu paduan umumnya digunakan sebagai ukuran *mold-filling capability* dari suatu paduan. Fluiditas logam cair merupakan faktor penting dalam pengecoran khususnya untuk menghindari cacat-cacat yang sering terjadi pada benda cor yang sangat tidak diinginkan. Fluiditas atau sifat mampu alir suatu cairan yang kurang baik dapat mengakibatkan *short run casting* dan juga dapat menghasilkan permukaan coran yang kurang baik. Satuan yang digunakan sebagai ukuran fluiditas dari suatu logam cair adalah ukuran panjang berupa cm atau inchi. Pengujian empiris telah digunakan untuk mengukur fluiditas. Pengukuran fluiditas didefinisikan sebagai total jarak yang dilalui cairan logam dalam sistem saluran tertutup. Pengujian yang paling umum digunakan untuk mengetahui sifat fluiditas paduan aluminium tuang adalah alat uji fluiditas cetakan spiral. Metode ini sangat sederhana tetapi memiliki beberapa kelemahan seperti sulitnya mengontrol kecepatan tuang logam cair memasuki cetakan. Untuk mengatasi proses penuangan dalam hal ini kecepatan yang konstan dan kecepatan tuang yang seragam, dirancang alat uji fluiditas metode vakum (*vacuum fluidity test*). Logam cair akan mengalir melalui sebuah saluran yang dapat terbuat dari tembaga, *stainless steel*, atau *pyrex* yang didorong oleh tekanan vakum sehingga kelemahan metode spiral dan metode lainnya dapat dihilangkan. Alat uji fluiditas metode vakum ini, kemudian dikembangkan dengan menambahkan tungku induksi, sehingga memudahkan proses peleburan logam yang selanjutnya akan dilakukan pengujian fluiditas. Dengan rancangan modifikasi ini, maka alat uji akan sangat mudah digunakan dan juga dapat dipindahkan ke lokasi pengujian yang diinginkan.

Keywords : Fluiditas, *short run casting*, metode vakum, *vacuum fluidity test*, tungku induksi.

1. Pendahuluan

Fluiditas merupakan indikasi kemampuan logam cair untuk mengisi rongga-rongga cetakan sebelum membeku pada proses pengecoran logam. Fluiditas dari suatu paduan umumnya digunakan sebagai ukuran *mold-filling capability* dari suatu paduan. Fluiditas logam cair merupakan faktor penting dalam pengecoran khususnya untuk menghindari cacat-cacat yang sering terjadi pada benda cor yang sangat tidak diinginkan.

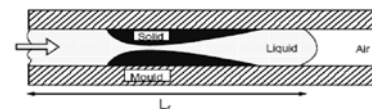
Pengujian fluiditas bisa dilakukan dengan berbagai cara, dan sampai saat sekarang ini alat pengujian fluiditas telah banyak dibuat dan dikembangkan, salah satu alat pengujian dengan menggunakan metode spiral dan menggunakan metoda vakum.

Untuk menentukan nilai fluiditas suatu material itu bagus atau tidaknya dapat ditentukan dengan panjang *range* (jarak) material tersebut mengisi

cetakan, *range* tersebut diantaranya :

- *Range* pembekuan pendek

Pada aliran logam paduan dengan *range* pembekuan pendek Gambar 1.1 solidifikasi dimulai dari bagian dinding menuju ke tengah logam cair.



Gambar 1.1. Mekanisme solidifikasi pada paduan dengan *range* pembekuan pendek (TALAT 2006)

Bagian ini akan mengalami *remelting* secara terus-menerus hingga bagian yang membeku pada kedua sisi bertemu, saat kondisi ini tercapai aliran berhenti.

- *Range* pembekuan panjang

Mekanisme solidifikasi aliran pada paduan dengan

range pembekuan panjang Gambar 1.2. berada pada bagian depan, dan tidak lagi berbentuk planar melainkan dendritik. Terjadi turbulensi pada bagian belakang aliran sehingga lengan-lengan dendrit yang telah membeku mengalami *remelting* dan terbentuk fasa lumpur berupa serpihan dendrit. Serpihan-serpihan dendrit (*slurry of dendrites*) ini yang menghalangi laju aliran dan akhirnya berhenti.

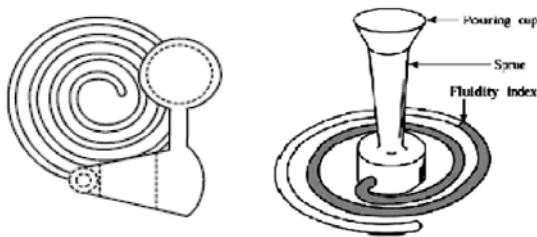


Gambar 1.2 Mekanisme solidifikasi pada paduan dengan *rang* pembekuan panjang (TALAT 2006)

Pengujian yang paling umum digunakan untuk mengetahui sifat fluiditas paduan aluminium tuang adalah alat uji fluiditas cekakan spiral, *fluidity test piece* dan uji fluiditas vakum.

1. Uji Fluiditas Cetakan Spiral (Spiral Test)

Pengujian dengan menggunakan cetakan spiral merupakan jenis pengujian fluiditas yang paling lama digunakan. Pengujian fluiditas dengan celakan spiral ini dilakukan dengan cara menuangkan logam cair ke alat uji fluiditas kemudian setelah logam membeku, panjang sampel yang berbentuk spiral diukur dengan menggunakan tali atau kabel dan kemudian diukur dengan penggaris. Semakin panjang spiral yang diperoleh maka nilai fluiditas semakin baik, dan sebaliknya jika spiral yang diperoleh pendek. Salah satu metode dari uji fluiditas celakan spiral ini dapat dilihat pada Gambar 1.3.



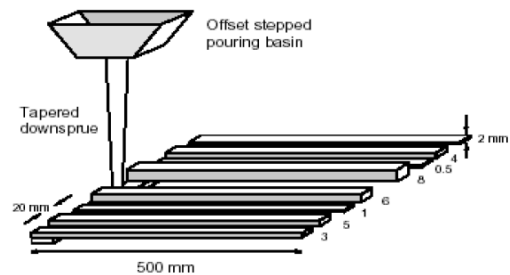
Gambar 1.3. Metoda pengujian fluiditas menggunakan cetakan spiral (TALAT 2006)

Uji fluiditas cetakan spiral masih memiliki kelemahan yaitu masalah dalam memperoleh standar kondisi aliran logam cair yang sesungguhnya. Namun, masalah ini telah diatasi melalui berbagai disain sistem aliran untuk mengatur tekanan alir dan peralatan penuangan dengan kecepatan konstan untuk memastikan bahwa logam cair yang dituangkan memiliki kecepatan seragam.

2. Fluidity Test Piece

Fluidity test piece merupakan salah satu jenis pengujian fluiditas yang banyak digunakan saat ini yang dikembangkan oleh Universitas Birmingham,

UK. Melalui pengujian ini pada temperatur tertentu, data yang didapat tidak hanya panjang fluiditas melainkan juga seberapa tipis ketebalan yang akan dapat dilalui oleh logam cair melalui proses penuangan. Dengan demikian, melalui analisis data yang didapat dari *fluidity test piece* diketahui ketebalan yang mungkin dapat diisi oleh logam cair. Dalam hal ini, semakin tipis ketebalan yang terisi maka nilai fluiditas suatu material semakin baik, perhatikan Gambar 1.4. untuk lebih jelasnya.

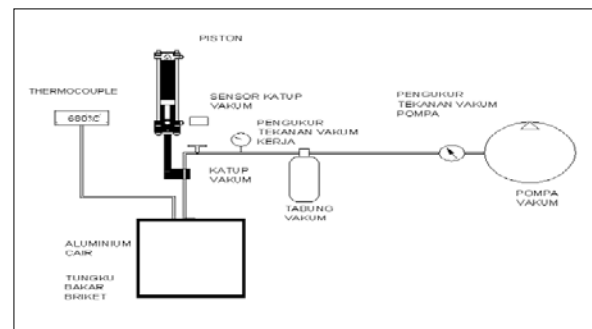


Gambar 1.4. *Fluidity test piece* (Niyama 2005)

Fluidity test piece ini mengacu pada tegangan permukaan yang mana setiap material memiliki tekanan permukaan yang berbeda-beda. Tegangan permukaan akan memberikan efek yang cukup besar pada pengisian rongga cetakan yang relatif tipis.

3. Uji Fluiditas Vakum (Vacuum fluidity test)

Untuk mengatasi proses penuangan dalam hal ini kecepatan yang konstan dan kecepatan tuang yang seragam. Pendekatan terbaik dalam memenuhi standardisasi dipenuhi oleh pengujian fluiditas vakum (*vacuum fluidity test*).



Gambar 1.5. Skema alat uji fluiditas metoda vakum

Dalam alat ini logam mengalir melalui sebuah saluran yang dapat terbuat dari tembaga, *stainless steel*, atau *pyrex* yang didorong oleh tekanan vakum dan tekanan yang digunakan dapat diketahui dan faktor manusia dapat dihilangkan. Teknik ini mendekati ideal dalam pengukuran fluiditas. Gambar 1.5. menunjukkan sketsa pengujian fluiditas metode vakum.

Pada penelitian sebelumnya telah dihasilkan alat uji fluiditas metode vakum, tetapi memiliki kekurangan dimana tungku peleburan masih menggunakan bahan

bakar briket batubara. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan rancang ulang alat uji fluiditas metode vakum dengan menggunakan tungku induksi kapasitas 1500 gr.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Fluiditas

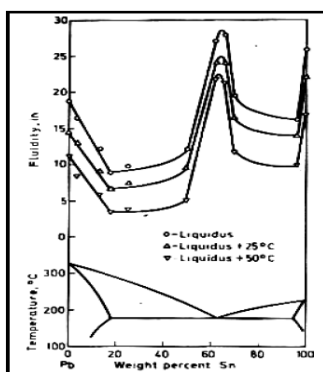
Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai fluiditas pada dasarnya terdiri dari intrinsik cairan dan kondisi *casting*. Intrinsik cairan terdiri atas viskositas, tegangan permukaan, karakteristik dari permukaan lapisan oksida pada permukaan, kandungan inklusi, dan komposisi material, sedangkan kondisi *casting* terdiri dari faktor cetakan, desain cetakan, karakteristik dari permukaan cetakan, material cetakan, laju penuangan, dan pengukuran fisik dinamika fluida dari sistem. Tetapi diantara faktor itu pengaruh fluiditas pada umumnya dipengaruhi oleh komposisi dan temperatur (P.R. Beeley 1972).

1. Temperatur (Derajat *Superheat*)

Temperatur merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi sifat fluiditas. Berdasarkan pada beberapa penelitian yang pernah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sifat fluiditas dari suatu logam maupun paduannya secara langsung memiliki hubungan dengan temperatur *superheat*. Hal ini diperoleh berdasarkan efek fundamental proses solidifikasi dalam mengendalikan durasi aliran, karena derajat *superheat* menentukan kuantitas panas yang dilepas sebelum proses solidifikasi.

2. Komposisi

Faktor utama yang mempengaruhi fluiditas logam cair selain temperatur adalah komposisi. Fluiditas tinggi biasanya ditemukan pada logam murni dan paduan di titik eutektik, sedangkan untuk *solid solution* terutama yang memiliki kemampuan membeku terlalu lama (fasa yang ada *liquid-nya*) mempunyai nilai fluiditas rendah (P.R. Beeley.1972).



Gambar 1.6 Hubungan antara komposisi kimia dan fluiditas paduan Pb-Sn (P.R.Beeley.1972)

Gambar 1.6 memperlihatkan hubungan antara

komposisi dan fluiditas paduan Pb dan Sn. Terlihat pada gambar tersebut bahwa titik eutektik memiliki fluiditas yang paling tinggi, diikuti dengan fasa tunggal, sedangkan fasa yang mengandung liquid memiliki nilai fluiditas paling rendah.

3. Inklusi

Disamping komposisi dasar paduan, karakteristik komposisi lain juga mempengaruhi sifat mampu alir atau fluiditas, yaitu inklusi pada logam cair. Inklusi tersebut yang berada dalam bentuk parikel tersuspensi tidak larut (*suspended insoluble nonmetallic particle*) yang mana akan menurunkan fluiditas aluminium cair secara signifikan.

4. Viskositas

Viskositas merupakan sebuah ukuran dari kekentalan suatu fluida. Nilai viskositas atau kekentalan merupakan sesuatu yang saling bertolak belakang dengan fluiditas. Nilai viskositas yang tinggi, menunjukkan bahwa cairan semakin kental dan menuju ke arah fasa padat dan sebaliknya, nilai viskositas rendah berarti logam cair tersebut semakin encer dan menuju ke arah fasa cair.

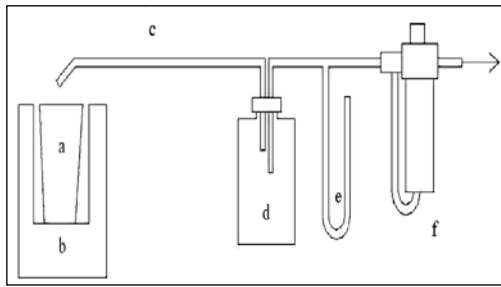
Fenomena ini muncul dikarenakan pada fasa padat atom-atom logam akan membentuk ikatan yang semakin stabil karena vibrasi atom yang semakin berkurang berkaitan dengan penurunan temperatur pada logam. Sedangkan pada temperatur tinggi ikatan atom dari logam tersebut menjadi semakin lemah, sehingga akan memudahkan atom-atom dalam logam cair tersebut untuk bergerak. Kemudahan pergerakan atom-atom ini akan mengakibatkan penurunan nilai viskositas, sedangkan nilai fluiditas justru semakin meningkat

5. Tegangan Permukaan Logam Cair

Setiap material yang berada dalam keadaan cair secara alamiah akan memiliki gaya yang bekerja pada permukaannya. Gaya ini yang kemudian dinamakan sebagai gaya tegangan permukaan logam cair. Tegangan permukaan akan memberikan efek yang cukup besar pada pengisian rongga cetakan yang relatif tipis. Karena pada desain rongga cetakan yang tipis, mengakibatkan fluiditas logam cair akan berkurang dengan adanya tegangan permukaan. Tegangan permukaan menjadikan logam cair cenderung akan mempertahankan keadaannya, atau menjadi *rigid* (kaku).

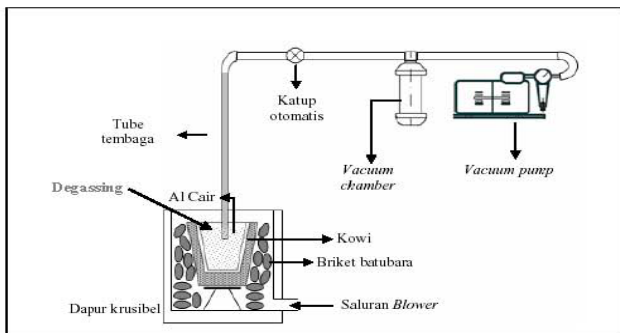
2. Metode Penelitian

Dari salah satu penelitian yang ada didapat sketsa gambar alat uji fluiditas metode vakum seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Gambar ilustrasi alat uji fluiditas metode vakum (TALAT 2006)

Dari gambar tersebut dikembangkan dalam bentuk sketsa seperti yang terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Gambar sketsa alat uji fluiditas vakum tungku briket (Nanda, Prima 2010)

Rangkaian yang terdapat pada alat uji fluiditas metode vakum meliputi komponen-komponen utama seperti:

- *Generator Vacuum*

Berfungsi untuk membangkitkan tekanan vakum dibawah atm, sehingga mengkondisikan besaran tekanan tertentu pada *vacuum chamber* untuk dialirkan nantinya ke pipa sebagai cetakan. Terdapat dua katup otomatis yang berfungsi untuk mengalirkan tekanan ke pipa. Kedua pipa ini akan membuka ketika ada sesuatu yang mengenai sensor ketinggian.

- *Vacuum chamber*

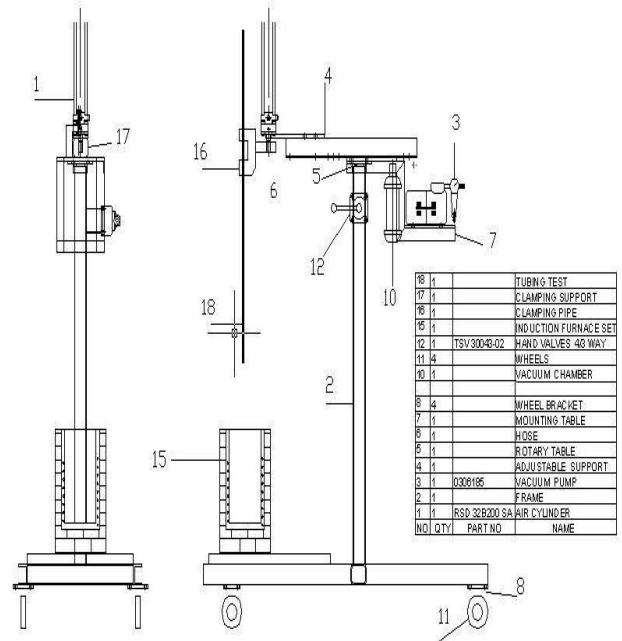
Berfungsi untuk menjaga tekanan konstan pada keadaan vakum tertentu. Sebelum digunakan, alat ini perlu dikalibrasi dengan menggunakan *pressure calibration*, dimana proses bertujuan agar didapat tekanan vakum yang konstan pada saat penggunaan.

- *Air Cylinder*

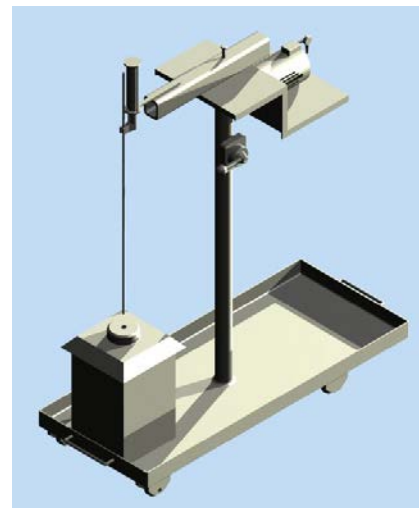
Berfungsi untuk membantu menaikkan dan menurunkan pipa tembaga ke dalam aluminium cair. Piston ini didukung oleh komponen-komponen lain seperti kompresor, yang berfungsi menyuplai angin untuk menggerakkan piston, dan lengan piston yang berfungsi untuk menyangga dan

menjaga kestabilan naik turun atau lurus-tidaknya posisi pipa pada piston.

Kelemahan tungku briket ini adalah sulitnya kontrol temperatur dan cenderung membuat aluminium cair terkontaminasi dengan carbon. Untuk itu dirancang ulang dengan menggunakan tungku induksi/ filamen seperti Gambar 2.3 di bawah ini :

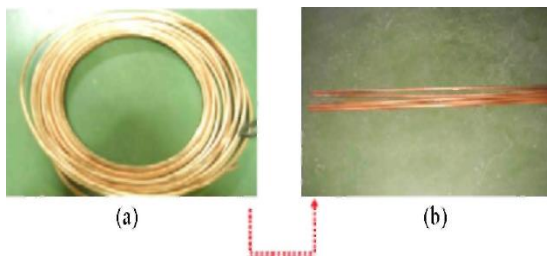


Gambar 2.3 Gambar teknik alat uji fluiditas metode vakum Tungku Induksi



Gambar 2.4 Bentuk 3D alat uji fluiditas metode vakum dengan Tungku Induksi

Bentuk 3D dari perancangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4. Cetakan untuk menghisap aluminium cair dari tungku peleburan digunakan pipa yang terbuat dari tembaga, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang paling akurat dan dapat melihat fenomena aliran aluminium cair, yang paling baik digunakan adalah jenis *pyrex*, tetapi sulit untuk mendapatkannya dan harga yang relatif mahal.



Gambar 2.6 Pipa tembaga (a) sebelum dan (b) setelah diluruskan (Nanda Prima 2010).

Alat uji fluiditas terdiri dari dua sistem, yang pertama adalah sistem vakum dan sistem hidrolik. Sistem vakum berfungsi untuk memberikan tekanan vakum didalam *vacuum chamber* oleh *vacuum generator* yang nantinya akan menghisap aluminium cair mengisi pipa sebagai cetakan. Sistem hidrolik berfungsi untuk menggerakkan *air cylinder* yang akan menggerakkan pipa naik dan turun. Apabila pipa telah turun, maka katup tekanan akan terbuka secara otomatis sehingga terjadi tarikan aluminium cair kedalam pipa.

Pengambilan sampel dilakukan secara semi otomatis dimana piston akan menurunkan pipa tembaga yang berfungsi sebagai cetakan aliran logam cair ke kedalaman tertentu dari krusibel. Dengan menekan tuas pada alat uji fluiditas vakum, pipa yang telah dipasang akan bergerak turun dengan bantuan hidrolik. Saat pipa mencapai bawah dan masuk ke dalam aluminium cair, sensor pada alat tersebut tertekan dan vakum akan menghisap logam cair dengan tekanan yang telah diatur. Proses penghisapan ini dibuat konstan hanya dalam waktu 3 detik untuk setiap sampel agar menghindari pipa tidak ikut melebur. Dalam 3 detik maka operator alat akan menaikkan piston melalui *hand valve* untuk melihat panjang fluiditas dari aluminium cair.

Pada alat uji fluiditas metode vakum ini dilakukan terlebih dahulu kalibrasi tekanan vakum dengan alat *pressure calibration* untuk mendapatkan tekanan vakum yang diinginkan. Pemilihan tekanan vakum juga berkaitan dengan dimensi pipa tembaga yang digunakan sebagai cetakan pengujian fluiditas.

Setelah dilakukan beberapa penelitian dengan menggunakan alat ini dan juga beberapa industri aluminium, maka dilakukan rancang ulang alat uji fluiditas metode vakum ini dengan menggunakan tungku induksi/filamen yang menjadi satu kesatuan dengan alat uji fluiditas. Perubahan ini dengan maksud memudahkan melakukan pengujian aluminium cair dan hasil yang lebih bersih.

3. Hasil dan Pembahasan

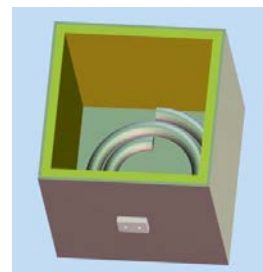
Salah satu sifat yang diinginkan pada paduan aluminium adalah kemampuannya untuk mengisi rongga cetakan terutama cetakan yang memiliki

celah sempit dan tipis, dikenal dengan sifat fluiditas (mampu alir). Telah banyak metode yang dikembangkan untuk pengujian nilai fluiditas ini, antara lain pengujian fluiditas metode spiral, *double spiral*, spiral kotak, *cross suction channel*, dan metode vakum.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan umumnya menggunakan metode spiral dikarenakan relatif murah dan sederhana, akan tetapi memiliki kelemahan didalam pengujian fluiditas logam cair yang tergantung pada tinggi dan kecepatan penuangan. Untuk itu pada penelitian ini dikembangkan alat uji fluiditas metode vakum yang memiliki keunggulan dari metode lainnya yaitu ketepatan pengukuran variabel temperatur tuang, kecepatan tuang dan nilai fluiditasnya. Perancangan dan pembuatan alat uji ini juga harus memenuhi aspek ergonomis (mudah dioperasikan) dan aspek estetika alat. Dimensi alat dibuat sebaik mungkin, efektif, dan efisien sehingga dapat diproduksi secara massal dan dalam pengoperasiannya membutuhkan energi, waktu, dan biaya yang rendah.

Salah satu komponen penting yang digunakan pada pengujian fluiditas metode vakum adalah pipa hisap (*suction pipe*) atau *tubing test* yang akan digunakan sebagai cetakan untuk menghisap aluminium cair dari tungku peleburan. Pada perancangan alat uji fluiditas metode vakum ini digunakan pipa tembaga. Beberapa penelitian menggunakan pipa *quartz* tetapi pipa ini sulit untuk didapatkan di pasaran dan harganya relatif mahal, karena itu tidak direkomendasikan dalam penelitian ini.

Media pergerakan untuk menaikturunkan pipa berupa tekanan udara yang berasal dari kompresor yang dialirkan ke *air cylinder*. Pergantian pipa yang digunakan untuk pengujian fluiditas metode vakum ini dilakukan secara manual. Pipa yang telah digunakan untuk menghisap aluminium cair tidak dapat digunakan lagi untuk pengujian berikutnya (hanya sekali pakai). Gambar 3.1 menunjukkan rancangan tungku induksi/filamen



Gambar 3.1. Bentuk 3D tungku induksi/filamen

Keunggulan alat hasil perancangan ulang ini diharapkan akan memberikan nilai validasi pengujian fluiditas lebih bagus dari pada pengujian fluiditas lainnya hal ini dikarenakan tungku telah menggunakan

jenis tungku induksi/ filamen. Aluminium cair juga dapat dijaga dari kontaminasi karbon yang berasal dari briket. Selain itu perancangan ulang ini bertujuan untuk menghindari dan pengurang proses *drop temperature* secara cepat akibat faktor temperatur lingkungan pada saat pengujian.

4. Kesimpulan

Untuk memudahkan pengujian fluiditas dan memiliki akurasi yang lebih baik telah banyak dirancang alat uji fluiditas oleh para peneliti namun dari hasil perancangan tersebut masih ada kekurangan-kekurangan dalam proses pengujian, untuk menghindari hal tersebut maka dirancanglah alat pengujian fluiditas metode vakum yang pada awalnya menggunakan tungku briket batubara diganti dengan tungku induksi/filamen

Dari hasil perancangan dan pembuatan alat uji fluiditas metode vakum ini telah memenuhi aspek yang diinginkan, antara lain:

1. Dimensi alat tidak terlalu besar sehingga mudah untuk dioperasikan serta mudah untuk dipindah-pindahkan.
2. Estetika alat dirancang sedemikian rupa sehingga menarik bagi *user* dan waktu pembuatannya yang relatif cepat.
3. Ergonomis, dalam arti bagaimana merancang alat yang murah tetapi tetap berkualitas dan handal digunakan untuk pengujian.
4. Dari hasil kalibrasi telah didapatkan ukuran tekanan vakum yang diinginkan dan dapat dijaga kebersihan logam cair

Referensi

<http://www.eaa.net/education/TALAT/lectures/3205.pdf>; (2006)

Niyama Eisuke., Anzai Koichi., Funakabo., Tatsuya. Hiratsuka Sadato., Some Basic Research for Thin-Wall Casting Technology. Journal of Material Processing Technology (2005)

P.R. Beeley., Foundry Technology. Hal : 14-22, Butterworth, London (1972)

Nanda. Prima., Pengaruh Penambahan Fe dan Sr Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik dan Nilai Fluiditas Metode Vakum Pada Paduan Al-7% Si dan Al-11% Si. Disertasi. Universitas Indonesia (2010)