



Studi Pengaruh Temperatur dan Getaran Mekanik Vertikal terhadap Pembentukan Segregasi Makro pada Paduan Eutektik Sn-Bi

Zaneta Zhafirah^{a,1}, Yeni M. Zulaida^{b,2}, Anistasia Milandia^{c,3}

^aJurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

¹E-mail:

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada Agustus
Direvisi pada September
Disetujui pada Oktober
Tersedia daring pada November

Kata kunci:

Segregasi Makro, Mechanical Vibrating,
Frekuensi Getaran, Eutektik, Sn-Bi

Keywords:

Macro Segregation, Mechanical Vibrating,
Vibration Frequency, Eutectic, Sn-Bi

ABSTRAK

Segregasi makro pada produk hasil pengecoran dapat mempengaruhi penurunan kualitas benda hasil coran seperti timbulnya kegagalan dan keretakan. Diperlukannya suatu metode untuk mengurangi segregasi makro yang terbentuk pada saat proses pengecoran adalah hal yang melatar belakangi penelitian ini. Pada penelitian ini, pemberian perlakuan getaran mekanik secara vertikal diberikan pada paduan eutektik Sn-Bi yang telah dilebur menggunakan tungku peleburan dengan temperatur 150 °C dan 183 °C dengan variasi frekuensi 4 Hz, 5 Hz dan 6 Hz. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa getaran dapat mengurangi pembentukan segregasi makro dan mempercepat laju pendinginan. Frekuensi getaran yang paling baik digunakan dalam menekan timbulnya segregasi makro adalah frekuensi 4 Hz pada temperatur 150 °C. Hal ini dapat terlihat dari bentuk struktur mikro yang dihasilkan lebih halus dan lebih seragam, serta rasio segregasi makro berhasil dikurangi yang semula sebesar 0,1232 menjadi 0,0879 bila dibandingkan dengan paduan yang tidak diberi perlakuan. Selain itu, pada produk coran yang mengalami perlakuan getaran dengan frekuensi 4 Hz pada temperatur 150 °C, memiliki distribusi komposisi Sn yang mendekati komposisi nominal Sn pada paduan eutektik di hampir semua bagian. Perlakuan getaran yang diberikan juga dapat meningkatkan laju kecepatan pendinginan yang terlihat pada frekuensi getaran yang semakin tinggi, maka waktu kecepatan pendinginan yang dihasilkan semakin cepat. Namun, semakin cepatnya waktu pendinginan tidak menentukan berkurangnya segregasi makro yang terbentuk.

ABSTRACT

Macro segregation in casting products can affect the quality of castings, such as failure and cracks. The need for a method to reduce the macro segregation formed during the casting process is the background of this research. In this study, vertical mechanical vibration was applied to the Sn-Bi eutectic alloy which had been melted using a smelting furnace at temperatures of 150 °C and 183 °C with a frequency variation of 4 Hz, 5 Hz and 6 Hz. The results of the research that has been done, it is found that vibration can reduce the formation of macro segregation and accelerate the cooling rate. The best vibration frequency used in suppressing the occurrence of macro segregation is the frequency of 4 Hz at a temperature of 150 °C. This can be seen from the resulting finer and more uniform microstructure, and the macro segregation ratio was successfully reduced from 0.1232 to 0.0879 when compared to untreated alloys. In addition, castings which are subjected to vibration treatment with a frequency of 4 Hz at a temperature of 150 °C, have a compositional distribution of Sn that is close to the nominal composition of Sn in the eutectic alloy in almost all parts. The vibration treatment given can also increase the cooling speed which is seen at the higher vibration frequency, the faster the cooling speed will be. However, the faster cooling time did not determine the reduced macro segregation formed.

1. Pendahuluan

Segregasi adalah ketidakseragaman komposisi kimia pada paduan saat padat. Hal ini menghasilkan struktur yang sangat beragam di berbagai posisi pengecoran dan dapat mempengaruhi sifat coran seperti penurunan sifat mekanik serta performa dari material tersebut yang kemudian dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan seperti timbulnya keretakan pada produk hasil coran. Segregasi dapat dibagi menjadi dua yaitu, segregasi mikro dan

segregasi makro. Segregasi mikro adalah perbedaan komposisi pada tiap bagian coran yang terjadi di antara lengan dendrit sekunder. Segregasi mikro biasanya terjadi dalam skala mikro yaitu sekitar 10-100 μm , tetapi segregasi mikro dapat dihilangkan dengan cara homogenisasi. Segregasi makro terdapat dibagian permukaan maupun di daerah dalam produk dengan skala makro. Segregasi makro dapat disebabkan oleh gerakan relatif atau aliran cairan maupun padatan yang terpisah selama solidifikasi. Faktor pendorong terjadinya segregasi makro antara lain kontraksi pemadatan, pengaruh gravitasi pada perbedaan densitas yang disebabkan oleh variasi komposisi, faktor dari luar seperti gaya sentrifugal atau gaya elektromagnetik, pembentukan gelembung gas, deformasi fase padat karena gaya dari luar dan tekanan statis, kekuatan kapiler. Fenomena getaran dapat digunakan untuk mengurangi efek segregasi makro. Pemberian perlakuan getar selama proses pembekuan akan menghancurkan lengan dendrit dan kemudian dendrit baru akan muncul yang dibuat oleh arus konveksi alami ataupun getaran dalam paduan itu sendiri. Hal ini dapat menciptakan kondisi yang menguntungkan untuk munculnya banyak kristal kecil dan mencegah pengembangan makrostruktur pada daerah kolumnar, serta dapat mengurangi segregasi makro dan meningkatkan laju pendinginan akibat getaran yang mengarah ke struktur akhir pembekuan. Menurut Takagi, Hidetoshi, dkk. efek getaran dapat mempengaruhi kualitas bentuk permukaan hasil coran pada proses semi *continuous casting*, sehingga hasil coran terlihat lebih halus serta partikel silikon yang ada pada paduan Al-Si-Cu-Mg terdistribusi merata ke seluruh bagian permukaan coran dan bentuk struktur mikro yang dihasilkan berubah dari matriks menjadi non-dendritik. Pada penelitian ini, penggunaan mesin getar dimaksudkan untuk memberikan getaran pada paduan Sn-Bi yang digunakan sebagai model pengamatan untuk segregasi dengan metode pengecoran konvensional. Proses getaran dilakukan secara vertikal pada saat kondisi cair dan saat cair padat tanpa menggunakan paddle yang dimasukkan ke dalam logam cair, sehingga permukaan pada produk hasil coran tidak terlalu kasar akibat adanya pemberian getaran. Kemudian akan dilakukan pengamatan terhadap persen segregasi makro yang terbentuk setelah paduan diberi getaran. Penggunaan paduan Sn-Bi sebagai model untuk pengamatan segregasi dikarenakan paduan ini memiliki temperatur titik lebur yang tidak terlalu tinggi dan tidak bersifat karsinogenik atau beracun dibandingkan dengan paduan Pb-Sn yang juga memiliki titik lebur tidak terlalu tinggi. Sehingga paduan Sn-Bi mudah digunakan sebagai model untuk pengamatan dan aman. Proses pemberian getaran pada produk coran dilakukan pada saat produk coran dalam keadaan cair dikarenakan dalam keadaan cair sel satuan akan terurai menjadi atom – atom yang dapat bergerak secara acak sehingga memungkinkan komposisi unsure yang ada dapat terdistribusi merata ketika padat. Variasi frekuensi getaran yang digunakan yaitu 4 Hz, 5 Hz dan 6 Hz dengan proses pengecoran konvensional dan metode getaran yang diberikan secara vertikal di bawah produk coran tanpa menggunakan paddle. Skala amplitudo yang digunakan adalah sebesar 2 mm untuk setiap variasi frekuensi getaran. Setelah itu, hasil temperatur pada paduan selama diberi perlakuan getaran akan diamati profil pendinginannya dengan metode *Finite element analysis* (FEA) menggunakan *software* Solidworks dalam bentuk *modeling*.

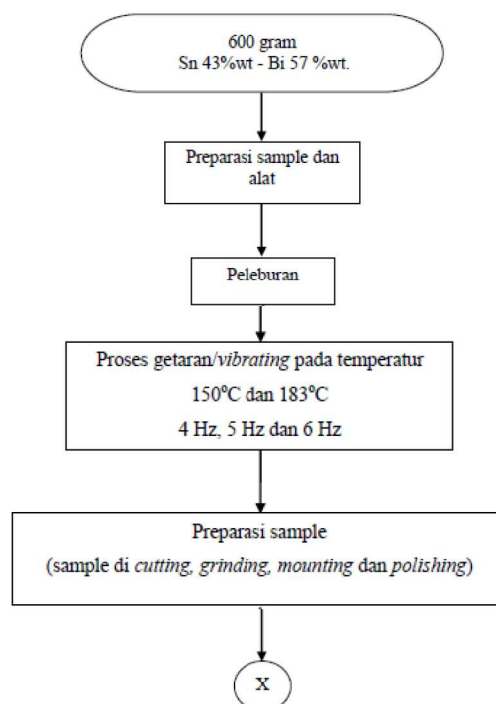
2. Metode Penelitian

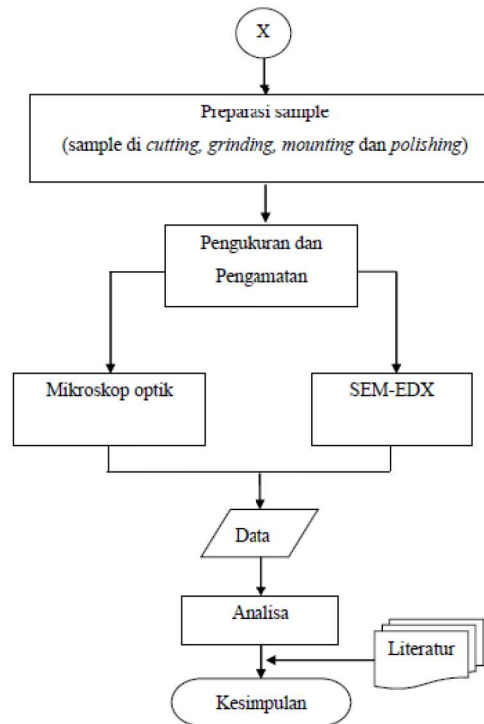
Sampel penelitian menggunakan ingot Sn dan Bi dengan kadar masing – masing 99.99%. Ingot Sn dan Bi dilebur dengan komposisi eutektik Sn 43% wt dengan berat 600 gram dan digetarkan pada kondisi cair-padat (150°C) dan kondisi cair (183°C) selama 5 menit 9 detik, variasi masing – masing sampel dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 1. Variasi Frekuensi Getar dan Temperatur Getar

Komposisi material 43% wt Sn	150°C			183°C		
	4 Hz	5 Hz	6 Hz	4 Hz	5 Hz	6 Hz

Sampel berbentuk silinder pejal dengan tinggi 46 mm dan diameter 40 mm kemudian sampel dibagi menjadi dua bagian dapat dilihat pada Gambar 3.4. Setelah itu dilakukan beberapa pengamatan, yaitu pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik dan SEM EDX. Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



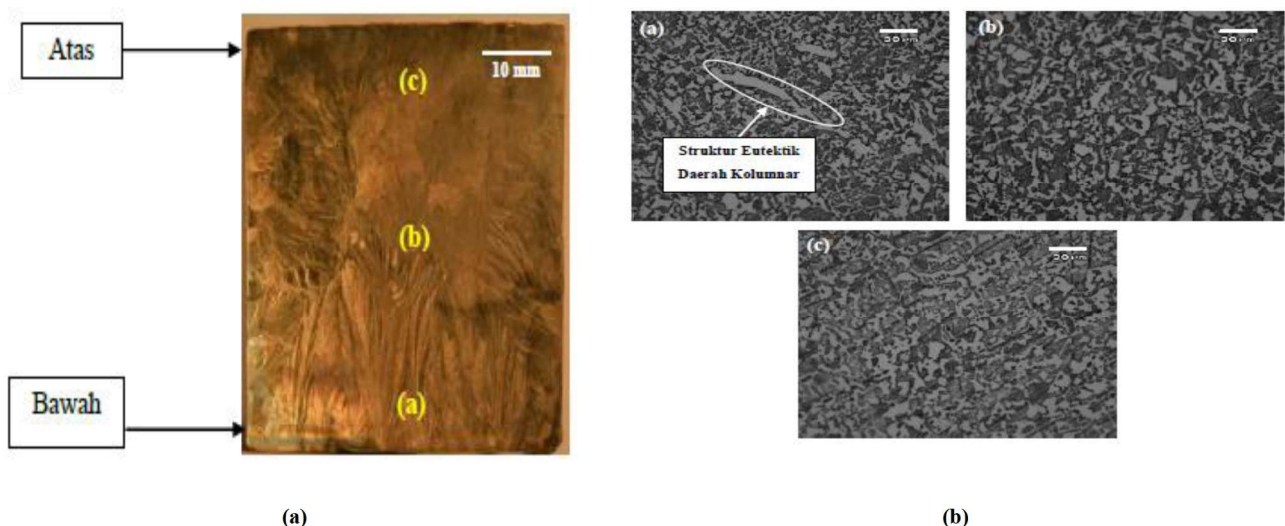


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengamatan Foto Makro dan Struktur Mikro

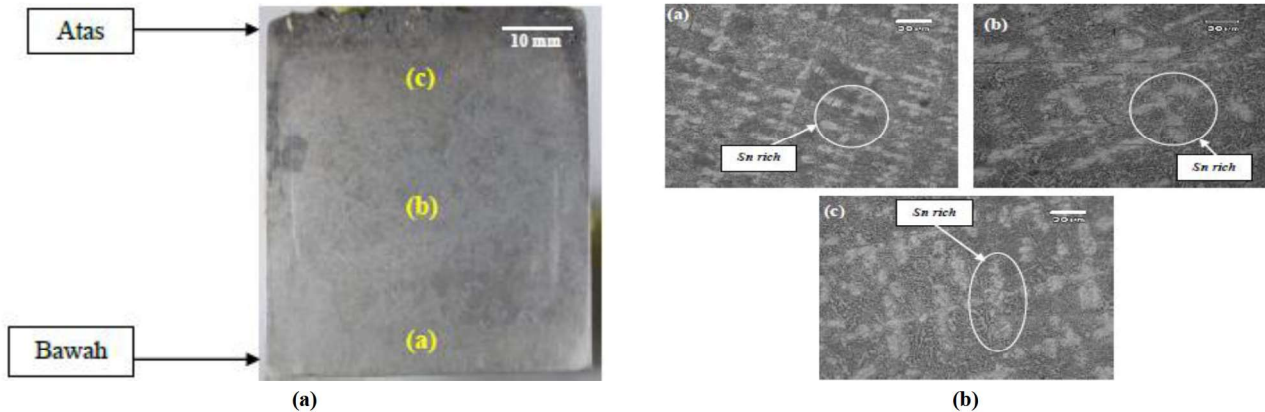
Pengamatan foto makro dan pengamatan struktur mikro terlebih dahulu dilakukan pada hasil produk cor paduan eutektik Sn-Bi yang belum diberi perlakuan getaran mekanik. Hasil pengamatan foto makro dan struktur mikro pada sampel yang belum diberi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil pengamatan makro pada paduan eutektik Sn-Bi baik yang tidak diberi perlakuan dan diberi perlakuan dilakukan menggunakan kamera makro, sedangkan untuk pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500x yang dilakukan di Laboratorium Metalografi PT. Krakatau Steel.



Gambar 2. (a) Foto Makro Sampel Non-Treatment (b) Struktur Mikro Sampel Non-Treatment dengan Pembesaran 500x

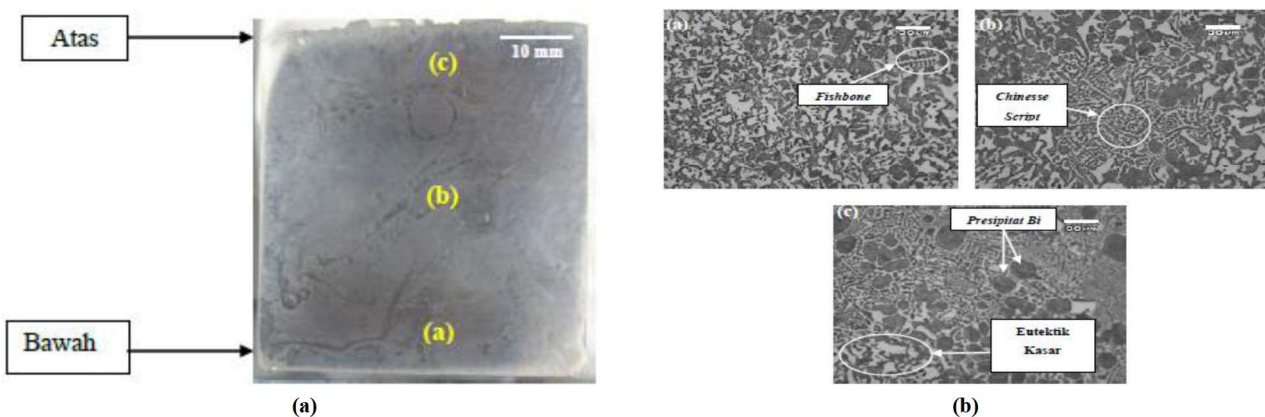
Setelah dilakukan pengamatan berdasarkan hasil foto makro dan gambaran struktur mikro, terlihat bahwa pada sampel Non-Treatment atau yang tidak diberikan perlakuan getaran memperlihatkan fasa eutektik di bagian bawah hingga bagian atas pada struktur mikro Gambar 2b.a. hingga 2b.c. Fasa eutektik pada Sn-Bi memiliki dua tipikal bentuk, yaitu fasa eutektik halus atau fasa eutektik dengan ukuran butir yang lebih kecil dan fasa eutektik kasar dengan bentuk ukuran butir yang besar. Bentuk fasa eutektik yang dihasilkan dipengaruhi oleh tingkat pendinginan, semakin tinggi tingkat pendinginan maka struktur yang dihasilkan akan semakin kompleks atau lebih halus. Fasa eutektik yang terdapat pada Gambar 2b.a. hingga 2b.c. terlihat memiliki

bentuk struktur yang kasar dan struktur yang dihasilkan tersebut menandakan bahwa sampel non- treatment mengalami pendinginan yang lambat. Pada daerah kolumnar di daerah a. pada Gambar 2a terdapat struktur memanjang dan lebar dibagian bawah seperti bentuk daun, menuju daerah yang terakhir membeku yaitu dibagian tengah. Struktur kolumnar pada sampel non-treatment menunjukkan bahwa pembekuan terjadi dari bagian bawah sampel menuju bagian atas. Struktur daerah kolumnar juga terlihat pada struktur mikro pada Gambar 2b.a. yang memiliki struktur memanjang seperti daun yang menunjukkan struktur dari daerah kolumnar. Pengamatan foto makro dan pengamatan struktur mikro juga dilakukan terhadap sampel yang diberi perlakuan getaran. Hasil pengamatan foto makro dan struktur mikro pada sampel setelah diberi perlakuan getaran pada frekuensi getaran 4 Hz dengan temperatur 150 °C dan dapat dilihat pada Gambar 3.



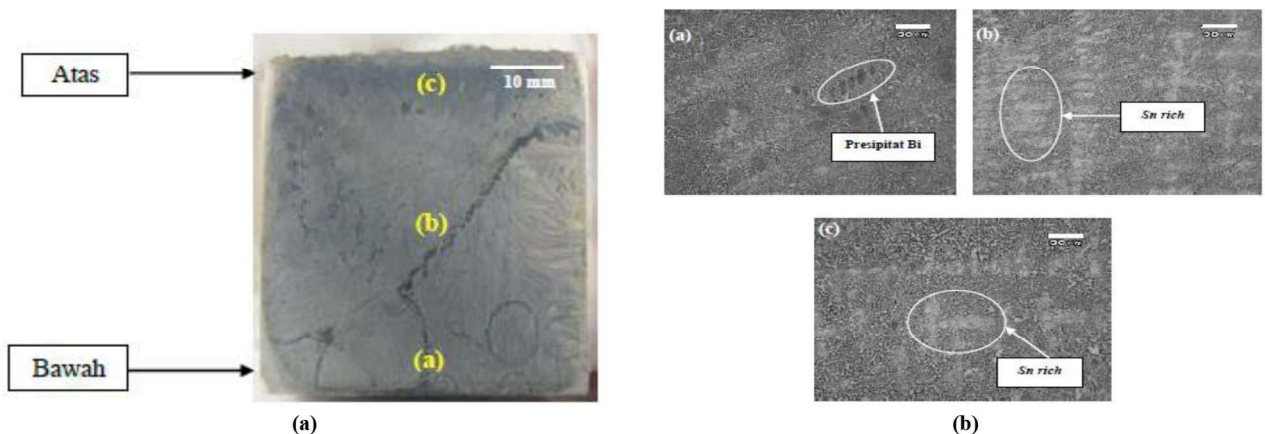
Gambar 3. (a) Foto Makro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 4 Hz pada Temperatur 150 °C (b) Struktur Mikro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 4 Hz pada Temperatur 150 °C dengan Pembesaran 500x

Untuk hasil pengamatan foto makro dan struktur mikro pada sampel setelah diberi perlakuan getaran pada frekuensi getaran 4 Hz dengan temperatur 183 °C dapat dilihat pada Gambar 4.



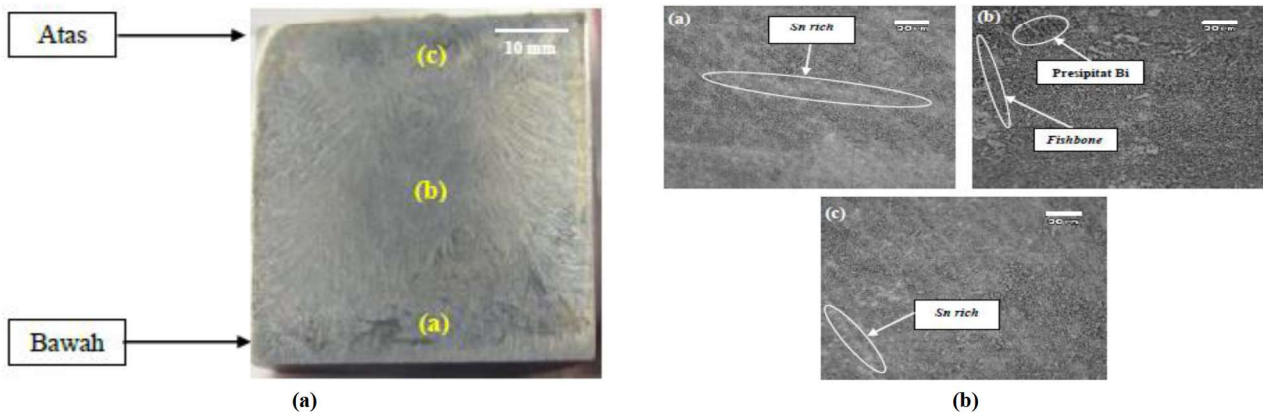
Gambar 4. (a) Foto Makro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 4 Hz pada Temperatur 183 °C (b) Struktur Mikro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 4 Hz pada Temperatur 183 °C dengan Pembesaran 500x

Pemberian perlakuan getaran pada paduan kembali dilakukan dengan frekuensi 5 Hz pada temperatur dengan temperatur 150 °C. Hasil pengamatan melalui foto makro dan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 5.



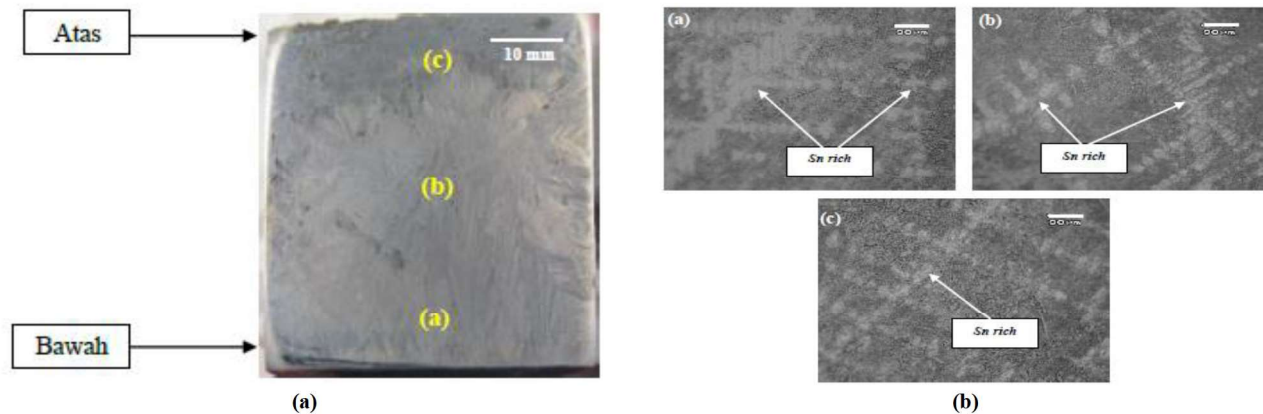
Gambar 5. (a) Foto Makro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 5 Hz pada Temperatur 150 °C (b) Struktur Mikro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 5 Hz pada Temperatur 150 °C dengan Pembesaran 500x

Untuk hasil pengamatan foto makro dan struktur mikro pada sampel setelah diberi perlakuan getaran pada frekuensi getaran 5 Hz dengan temperatur 183 °C dapat dilihat pada Gambar 6.



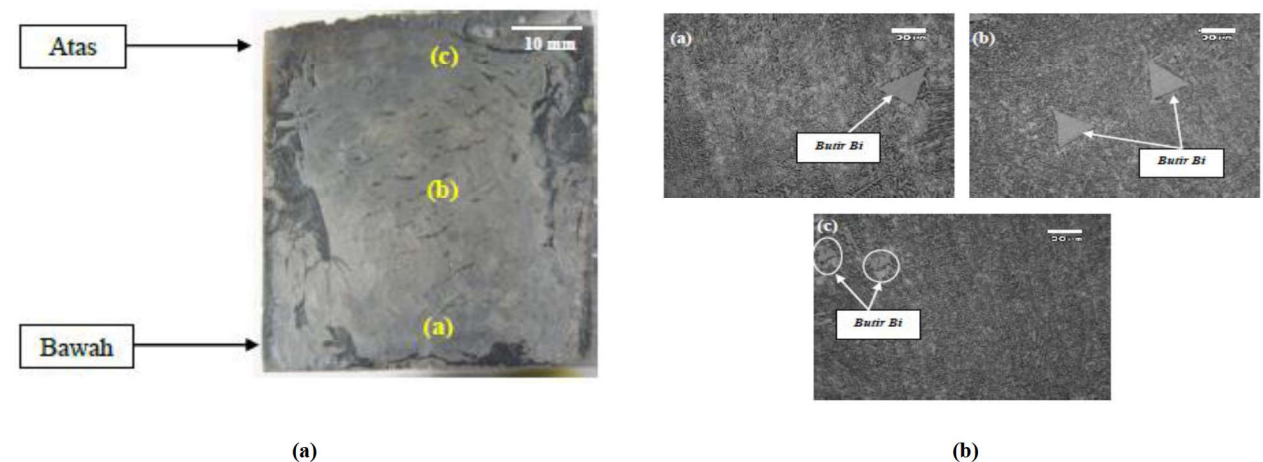
Gambar 6. (a) Foto Makro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 5 Hz pada Temperatur 183 °C (b) Struktur Mikro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 5 Hz pada Temperatur 183 °C dengan Pembesaran 500x

Pemberian perlakuan getaran pada paduan selanjutnya dilakukan dengan frekuensi 6 Hz pada temperatur dengan temperatur 150 °C. Hasil dari foto makro dan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Foto Makro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 6 Hz pada Temperatur 150 °C (b) Struktur Mikro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 6 Hz pada Temperatur 150 °C dengan Pembesaran 500x

Untuk hasil pengamatan foto makro dan struktur mikro pada sampel setelah diberi perlakuan getaran pada frekuensi getaran 6 Hz dengan temperatur 183°C dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. (a) Foto Makro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 6 Hz pada Temperatur 183 °C (b) Struktur Mikro Sampel dengan Perlakuan Getaran Frekuensi 6 Hz pada Temperatur 183 °C dengan Pembesaran 500x

Dari hasil pengamatan diatas, maka dapat dikatakan bahwa getaran mekanik yang diberikan dapat mengurangi terjadinya segregasi makro pada struktur mikro paduan eutektik Sn-Bi terutama pada frekuensi karena menghasilkan struktur butir yang halus yang menandakan bahwa kemunculan segregasi makro berhasil ditekan. Hal tersebut sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa pengaruh getaran mekanik yang diberikan pada logam cair dapat mempengaruhi ukuran butiran menjadi halus. Pada paduan yang diberi getaran dengan frekuensi 4 Hz dan 6 Hz pada temperatur 150 °C memiliki

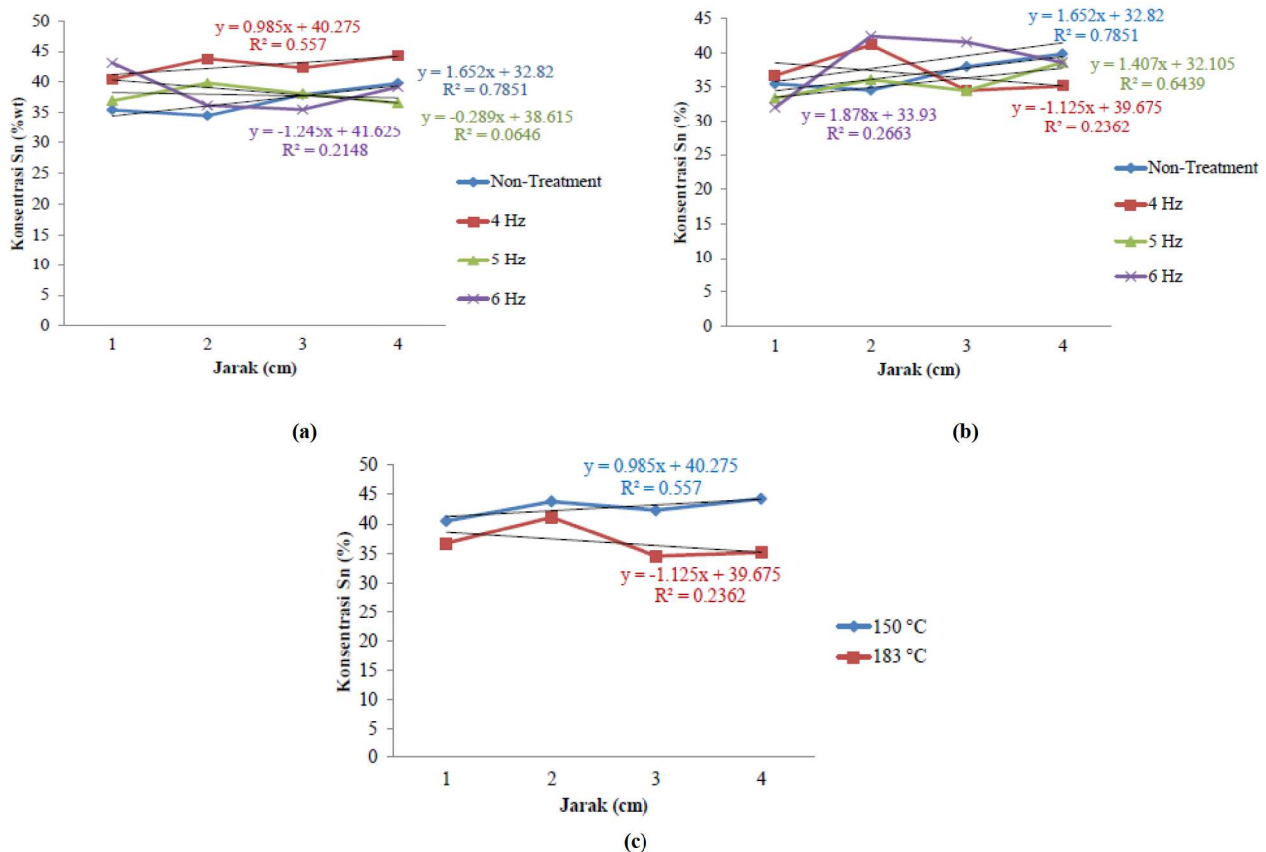
keteragaman struktur mikro halus yang baik di hampir setiap bagian. Keteragaman struktur mikro tersebut dapat menandakan bahwa munculnya segregasi makro berhasil dikurangi. Karena semakin seragam struktur mikro yang dihasilkan di setiap bagian, maka kemunculan segregasi makro akan berkurang. Pada frekuensi 4 Hz dan 6 Hz dengan temperatur 150 °C struktur mikro yang dihasilkan berupa fasa Sn *rich* yang dikelilingi fasa eutektik berada dibagian bawah, tengah dan atas sampel. Namun pada frekuensi 6 Hz dengan temperatur 150 °C, struktur fasa Sn *rich* yang dihasilkan memiliki jarak yang terlalu dekat antara satu dengan lainnya dan hal ini kemungkinan akan berpengaruh terhadap distribusi komposisi pada paduan. Sedangkan pada frekuensi 4 Hz dengan temperatur 150 °C, fasa Sn *rich* yang dihasilkan memiliki orientasi yang lebih teratur dan jarak antara satu dengan lainnya tidak berdekatan dibandingkan dengan frekuensi 6 Hz dengan temperatur 150 °C. Maka, frekuensi 4 Hz pada temperatur 150 °C adalah frekuensi yang paling baik untuk menekan munculnya segregasi makro pada struktur mikro karena memiliki struktur yang halus dan lebih seragam.

3.2 Pengaruh Getaran Mekanik Vertikal terhadap Persebaran Komposisi Unsur

Untuk mengetahui persebaran komposisi unsur pada paduan eutektik SnBi, maka dilakukan pengujian SEM-EDS. Bagian sampel yang akan di analisis menggunakan SEM-EDS dimulai dari bagian bawah hingga ke bagian atas. Untuk hasil SEM-EDS untuk konsentrasi Sn dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk hasil distribusi Sn hasil SEM-EDS dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 2. Hasil SEM-EDS untuk Konsentrasi Sn

Jarak (cm)	Non-Treatment	4 Hz		5 Hz		6 Hz	
		150°C	183°C	150°C	183°C	150°C	183°C
1	35,47	40,51	36,68	36,98	33,36	43,13	32,02
2	34,53	43,82	41,13	39,87	36,07	36,19	42,38
3	37,97	42,33	34,50	38,12	34,48	35,53	41,54
4	39,83	44,29	35,14	36,60	38,58	39,20	38,56
Jumlah rata-rata	36,95	42,73	36,86	37,89	35,62	38,51	38,62



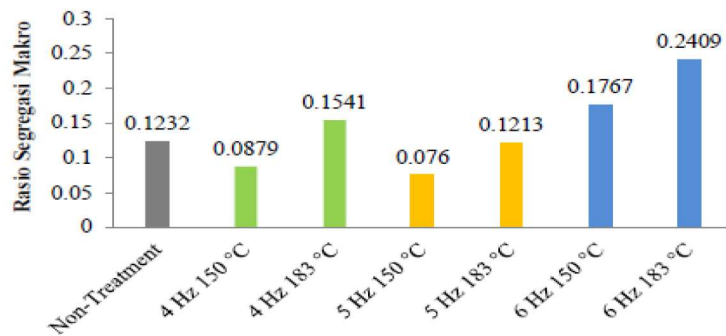
Gambar 9. (a) Kurva Distribusi Sn pada Temperatur 150 °C (b) Kurva Distribusi Sn pada Temperatur 183 °C (c) Kurva Distribusi Sn pada Frekuensi Getaran 4 Hz

Komposisi nominal yang digunakan pada penelitian ini, yaitu 43% wt Sn dan 57% wt Bi. Pada hasil SEM-EDX paduan non-treatment, menunjukkan komposisi Sn sebesar 39,83% pada posisi 1 cm dibagian bawah, 37,97% pada posisi 2 cm dari bagian bawah, 34,53% pada posisi 3 cm dari bagian bawah dan 35,47% pada posisi 4 cm dibagian atas. Dilihat dari komposisi paduan pada sampel non-treatment terdapat adanya Sn yang jauh dari komposisi nominal yaitu 43%. Maka hal ini dapat diindikasikan terjadinya segregasi makro dibagian sampel non-treatment. Untuk sampel yang telah diberi perlakuan getaran, terlihat adanya peningkatan persebaran komposisi Sn di setiap bagian. Dari tabel dan gambar kurva distribusi Sn hasil SEM-EDS terlihat bahwa komposisi Sn untuk frekuensi 4 Hz pada temperatur 150 °C adalah yang paling baik. Karena, hasil komposisi Sn pada frekuensi 4 Hz di temperatur 150 °C mendekati komposisi nominal Sn sebesar 43%. Komposisi Sn yang dihasilkan di setiap bagian pada sampel dengan frekuensi 4 Hz pada temperatur 150 °C, yaitu 40,51% pada posisi 1 cm dibagian bawah, 43,82% pada posisi 2 cm dari bagian bawah, 42,33% pada posisi 3 cm dari

bagian bawah dan 44,29% pada posisi 4 cm dibagian atas. Hasil rasio segregasi makro pada sampel non-treatment dan setelah diberi perlakuan getaran, dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 10:

Tabel 3. Hasil Rasio Segregasi Makro pada Sampel

Sampel	Rasio Segregasi
Non-Treatment	0,1232
4 Hz 150°C	0,0879
4 Hz 183°C	0,1541
5 Hz 150°C	0,0760
5 Hz 183°C	0,1213
6 Hz 150°C	0,1767
6 Hz 183°C	0,2409

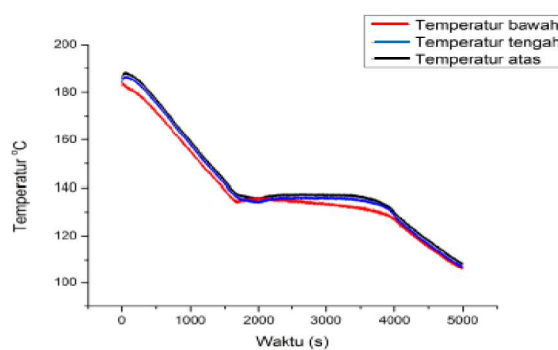


Gambar 10. Kurva Rasio Segregasi Makro pada Sampel

Dari hasil rasio segregasi makro yang didapatkan, terlihat bahwa pada frekuensi 4 Hz di temperatur 150 °C dan 5 Hz di temperatur 150 °C memiliki rasio segregasi makro yang rendah dibandingkan dengan non-treatment, yaitu sebesar 0.0879 dan 0.0760. Pada frekuensi 5 Hz di temperatur 150 °C rasio segregasi makro yang dimiliki memang paling rendah di bandingkan dengan frekuensi 4 Hz di temperatur 150 °C. Namun, jika dilihat dari distribusi komposisi Sn, pada sampel yang diberi perlakuan getaran sebesar 5 Hz di temperatur 150 °C masih belum mendekati komposisi nominal Sn. Oleh sebab itu, sampel yang diberi perlakuan getaran dengan frekuensi 4 Hz di temperatur 150 °C dapat dikatakan lebih baik. Karena sampel yang diberikan perlakuan getaran sebesar 4 Hz di temperatur 150°C memiliki distribusi komposisi Sn yang mendekati komposisi nominal serta memiliki persentase rasio segregasi makro yang rendah dibandingkan dengan sampel non-treatment.

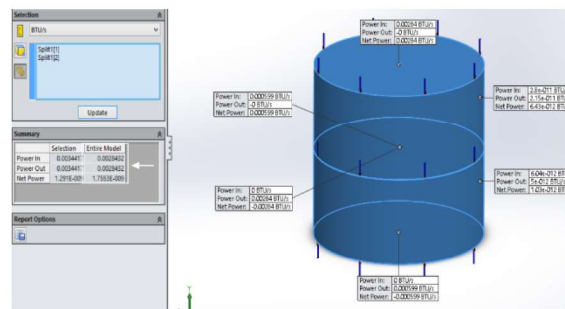
3.3 Pengaruh Getaran Mekanik Vertikal terhadap Laju Pendinginan

Getaran mekanik dapat memberikan pengaruh terhadap laju pendinginan. Oleh karena itu, pada sampel non-treatment dan yang diberi perlakuan getaran dibuat dalam bentuk grafik untuk diamati laju pendinginannya dan sebelumnya data temperatur tersebut sudah divalidasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.20 berupa grafik hasil dari temperatur pada sampel *non-treatment*.



Gambar 11. Grafik Temperatur untuk Sampel Non-Treatment

Dari gambar grafik diatas, diketahui bahwa logam cair pada sampel *non-treatment* di temperatur ± 180 °C membutuhkan setidaknya 25 menit 2 detik untuk mencapai temperatur solidifikasi yaitu 139 °C. Sedangkan pada temperatur ± 150 °C, sampel non-treatment membutuhkan waktu 5 menit 9 detik untuk mencapai temperatur solidifikasi. Berdasarkan data hasil temperatur diatas, terlihat bahwa pada temperatur 150 °C dan 183 °C pengaruh frekuensi getaran dapat terlihat jelas. Semakin tinggi frekuensi getaran yang diberikan, maka semakin cepat laju pendinginannya. Hal ini terlihat pada laju solidifikasi frekuensi 6 Hz yang dihasilkan lebih cepat dibandingkan pada frekuensi 4 Hz dan 5 Hz ataupun sampel *non-treatment*. Pengaruh jarak temperatur penggetaran yang relatif lebih dekat dengan temperatur solidifikasi juga dapat mempengaruhi kecepatan laju pendinginan. Semakin dekat temperatur penggetaran dengan temperatur solidifikasi, semakin cepat laju pendinginannya.



Gambar 15. Laju Perpindahan Panas saat Solidifikasi untuk Sampel dengan Frekuensi 6 Hz pada Temperatur 150 °C

Pada Gambar 15 laju perpindahan panas dapat dilihat pada kolom *net power* yang telah diberi tanda panah putih. Laju perpindahan panas yang terjadi pada sampel dengan perlakuan getaran 6 Hz pada temperatur 150 °C yaitu sebesar 1,7553 BTU/s. Jika dibandingkan, maka laju perpindahan panas perlakuan getaran 6 Hz pada temperatur 150 °C lebih cepat daripada laju perpindahan panas pada sampel *non-treatment* yaitu sebesar 1,2449 BTU/s. Hal ini membuktikan bahwa fenomena getaran, mampu meningkatkan kecepatan laju pendinginan pada produk hasil coran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Getaran mekanik dapat memberikan efek terhadap struktur mikro dan makro pada produk hasil coran. Hal ini dibuktikan pada sampel yang diberi perlakuan getaran sebesar 4 Hz pada temperatur 150 °C memiliki struktur makro dan mikro yang seragam di hampir seluruh bagian permukaan.
2. Pada temperatur 150 °C dengan kondisi cair-padat dapat memberikan efek yang lebih baik terhadap distribusi komposisi unsur. Hal ini dibuktikan dengan hasil sampel yang diberi perlakuan getaran sebesar 4 Hz pada temperatur 150 °C, memiliki komposisi unsur Sn yang mendekati komposisi nominal Sn yang digunakan di hampir seluruh bagian, yaitu sebesar 40,51%, 43,82%, 42,33% dan 44,29%.
3. Rasio segregasi makro yang terbentuk dapat ditekan karena adanya pengaruh getaran mekanik yang diberikan. Rasio segregasi makro yang semula sebesar 0,1232 pada sampel *non-treatment* berhasil dikurangi menjadi 0,0879 pada sampel hasil perlakuan getaran sebesar 4 Hz pada temperatur 150 °C.
4. Frekuensi getaran mekanik dapat memberikan efek terhadap laju kecepatan pendinginan. Semakin tinggi frekuensi getaran, maka semakin cepat laju pendinginannya. Namun, laju pendinginan yang cepat tidak menentukan berkurangnya rasio segregasi makro yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [64] Flemings M C, Nereo G E "Macrosegregation: part 1." Trans. Metall. Soc. AIME. 1967.
- [65] AHSM Handbook international The Materials Information Company Vol 15, Macrosegregation 2008.
- [66] Banea, Alexandru Stefan, & friends. "Study on The Influence of Mechanical Vibrations Alloys Properties". International Conference of Scientific Paper AFASES. Brasov. 2011.
- [67] Takagi, Hidetoshi. "Effects of Mechanical Stirring and Vibration on the Microstructure of Hypereutectic Al-Si-Cu-Mg Alloy Billets". The Japan Institute of Metals. 2007.
- [68] H.Okamoto; ASM Handbooks Online, <http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>. May, 2006.
- [69] Hadijaya, "Kompilasi Data Hasil Percobaan Pengecoran Skrap Paduan AlMg2". Hasil Penelitian EBN Tahun : ISSN 0854 – 5561. 2005.
- [70] F.P. Incropera and D.P. De Witt, Introduction to Heat Transfer, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, NY, 1990.
- [71] G.H. Geiger "Transport Phenomena in Metallurgy". Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Philippines copyright. 1973.
- [72] P.B. Kosasih "Teori dan Aplikasi Metode Elemen Hingga". Yogyakarta: ANDI OFFSET. 2012.
- [73] Hu, Kaiwei & friends. "Convecting Particle Diffusion in a Binary Particle Sistem Under Vertical Vibration". University of Pittsburgh. January, 2014.
- [74] Ir kiban Sryanti. "Pengaruh pengecoran sentrifugal terhadap segregasi dan struktur mikro paduan Sn – Pb". Departemen pendidikan dan kebudayaan lembaga penelitian Universitas Indonesia. 1989.
- [75] B. Chalmers, "Solidification of Metals" New York, Wiley, p.265-266. 1964.
- [76] B. D. M. Matthias Hort, "Igneous layering through oscillatory nucleation and crystal settling in well-mixed magmas", USA, Springer-Verlag. 1993.
- [77] Sadhana, Vol. 26, Parts 1 & 2, February–April 2001, pp. 5–24. © Printed in India.
- [78] Beckermann, Christoph "MODELING OF MACROSEGREGATION: PAST, PRESENT AND FUTURE" Department of Mechanical Engineering University of Iowa. Iowa City, IA 52242. 2000.
- [79] I. Ohnaka and M. Matsumoto, Tetsu-to-Hagané (J. Iron Steel Inst. Jpn.), Vol 73, 1987, p 1698.
- [80] Angraini, Nuha Desi "Analisa SEM dalam pemantauan proses oksidasi Fe2O3 sampai Fe3O4 "Bandung : teknik mesin ITN, Oktober 2008.
- [81] G. R. Bismarck Luiz Silva. "Microstructural Development and Mechanical Properties of a Near-Eutectic Directionally Solidified Sn–Bi Solder Alloy" Department of Materials Engineering, Federal University of Sao Carlos, Brazil. June 2015.
- [82] N. R. Pillai. "Effect of Low Frequency Mechanical Vibration on Structure of Modified Aluminum-Silicon Eutectic" Department of Metallurgical Engineering, Banaras Hindu University, Varanasi. 1972.
- [83] Y.M. Zulaida "The Influence of Cooling Rate on Macrosegregation in BiSn Alloy" Metallurgy Department, Sultan Ageng Tirtayasa University, Banten, Indonesia. 2015.