

# **STUDI PENGARUH TEMPERATUR DAN GETARAN MEKANIK VERTIKAL TERHADAP PEMBENTUKAN SEGREGASI MAKRO PADA PADUAN EUTEKTIK Sn–Bi**

Zaneta Zhafirah, Yeni Muriani Zulaida, ST., MT.,  
Anistasia Milandia, ST., MT.

Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas  
Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia

**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. Analisis SEM-EDS dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan distribusi komposisi unsur di dalam paduan yang telah diberi perlakuan maupun yang tidak diberi perlakuan. 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.

**Kata Kunci :** Segregasi Makro, *Mechanical Vibrating*, Frekuensi Getaran, Eutektik, Sn-Bi

## **1. PENDAHULUAN**

Segregasi makro adalah ketidakseragaman komposisi kimia pada paduan saat padat yang terdapat dibagian permukaan maupun di daerah dalam produk dengan skala makro. 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 [1].

Fenomena getaran dapat digunakan untuk mengurangi efek segregasi makro [2]. 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 [2].

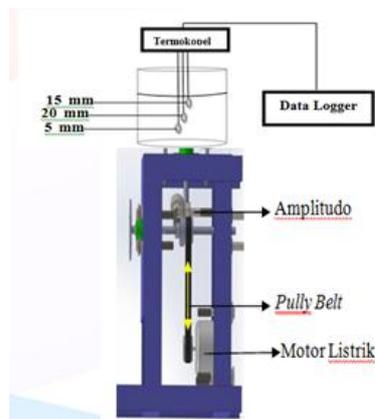
## 2. METODE EKSPERIMEN

Sampel penelitian menggunakan ingot Sn dan Bi dengan kadar masing – masing 99.99%. Ingot Sn dan Bi dilebur dmenggunakan tungku peleburan komposisi eutektik Sn 43% wt dengan berat 600 gram



**Gambar 1.**Tungku Peleburan

Setelah dilebur, sampel digetarkan pada kondisi cair-padat ( $150^{\circ}\text{C}$ ) dan kondisi cair ( $183^{\circ}\text{C}$ ) selama 5 menit 9 detik menggunakan alat getar *vertical casting*. Sampel tersebut diberi termokopel untuk mengamati temperatur logam cair selama proses penggetaran hingga padat. Sampel yang dihasilkan pada penelitian ini berbentuk silinder pejal dengan tinggi 46 mm dan diameter 40 mm. Kemudian sampel dibagi menjadi dua bagian dan etelah itu dilakukan beberapa pengamatan seperti pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik dan SEM EDX.



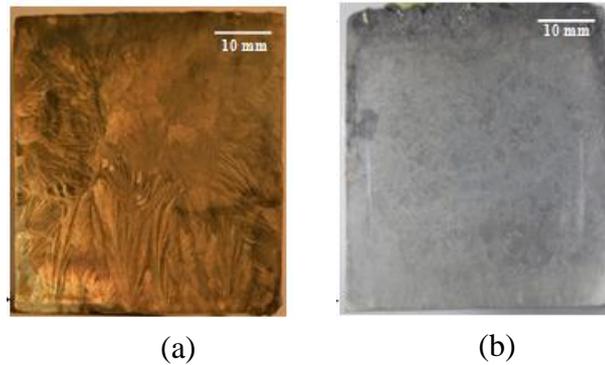
**Gambar 2.** Alat Getar *Vertical Casting*

## 3. METODE EKSPERIMEN

### ) Hasil Pengamatan Foto Makro dan Struktur Mikro

Pengaruh getaran vertikal yang diberikan untuk menekan jumlah segregasi makro dapat dilihat pada struktur mikro dengan ditandai dengan bentuk yang berubah, yaitu bentuk butir yang semula kasar dapat berubah menjadi halus [3]. Hal ini dapat terlihat pada paduan *non-treatment* dan paduan yang telah diberi pengaruh getaran vertikal. Pada Gambar 3.a paduan *non-treatment* terlihat adanya struktur eutektik Sn-Bi yang berbentuk kasar di hampir semua

bagian sampel baik bagian bawah hingga bagian atas, sedangkan pada Gambar 3.b paduan yang diberi getaran dengan frekuensi 4 Hz pada temperatur 150 °C memiliki keseragaman struktur mikro halus yang baik di hampir setiap bagian. Keseragaman 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 [4]



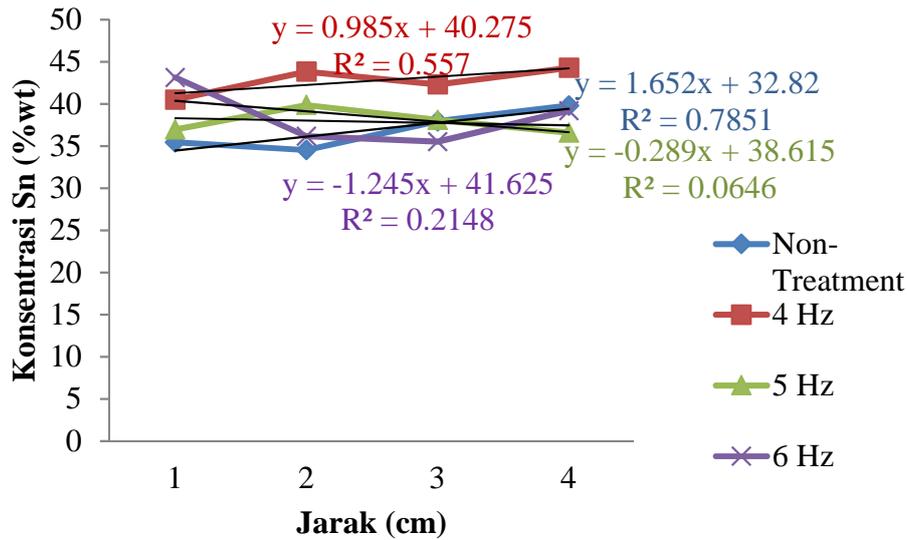
**Gambar 3.** a) Sampel *Non-Treatment* b) Sampel Perlakuan Getaran 4 Hz pada Temperatur 150 °C

#### J Pengaruh Getaran Mekanik Vertikal terhadap Persebaran Komposisi Unsur

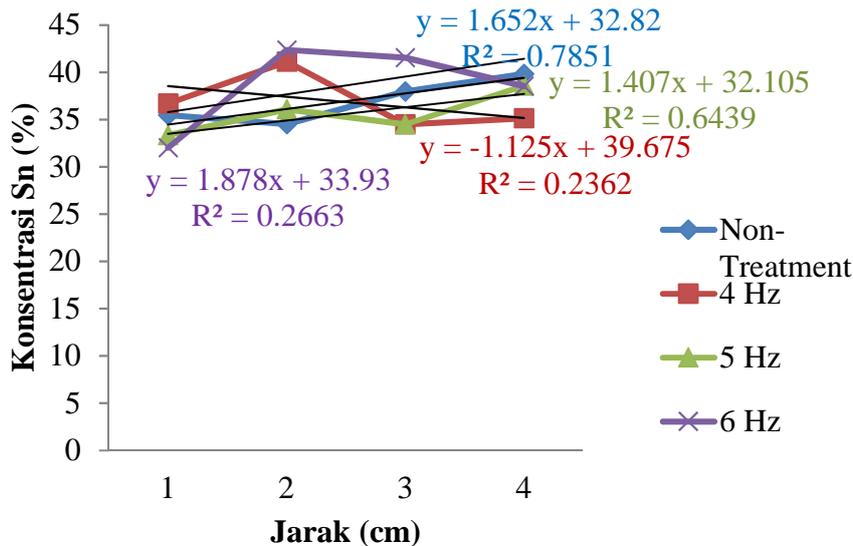
Untuk mengetahui persebaran komposisi unsur pada paduan eutektik Sn-Bi, maka dilakukan pengujian SEM-EDS. Bagian sampel yang akan di analisis menggunakan SEM-EDS dimulai dari bagian bawah hingga ke bagian atas. Untuk hasil SEM-EDS untuk konsentrasi Sn dapat dilihat pada tabel 1. dan untuk hasil distribusi Sn hasil SEM-EDS dapat dilihat pada Gambar Grafik 4 dan 5.

**Tabel 1.** Hasil SEM-EDS untuk Konsentrasi Sn

Jarak (cm)	<i>Non- Treatment</i>	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
<b>Jumlah rata-rata</b>	36,95	42,73	36,86	37,89	35,62	38,51	38,62



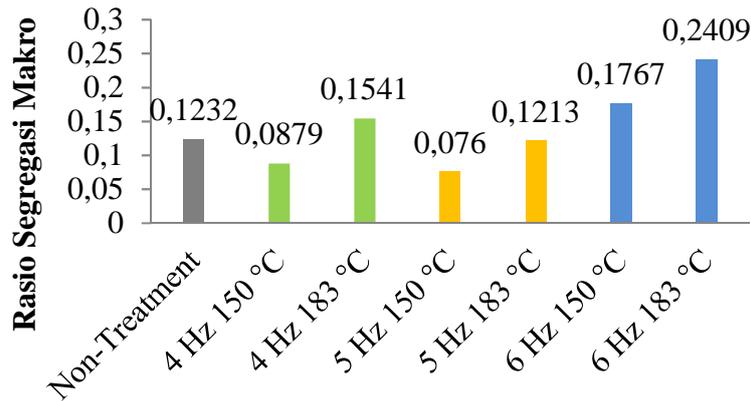
Gambar 4 Kurva Distribusi Sn pada Temperatur 150 °C



Gambar 5 Kurva Distribusi Sn pada Temperatur 183 °C

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.

Setelah mengetahui komposisi Sn menggunakan SEM-EDX, rasio segregasi yang terjadi pada sampel pun dapat dihitung. Hasil rasio segregasi makro pada sampel *non-treatment* dan setelah diberi perlakuan getaran, dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Kurva Rasio Segregasi makro pada Sampel

Pada frekuensi 5 Hz di temperatur 150 °C rasio segregasi makro yang dimiliki memang paling rendah dibandingkan 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*.

) **Pengaruh Getaran Mekanik Vertikal terhadap Laju Pendinginan**

Getaran mekanik dapat memberikan pengaruh terhadap laju pendinginan [2]. Semakin tinggi frekuensi getaran yang diberikan, maka semakin cepat laju pendinginannya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3. yang menunjukkan waktu solidifikasi masing-masing sampel.

**Tabel 3.** Waktu Kecepatan Solidifikasi pada Sampel

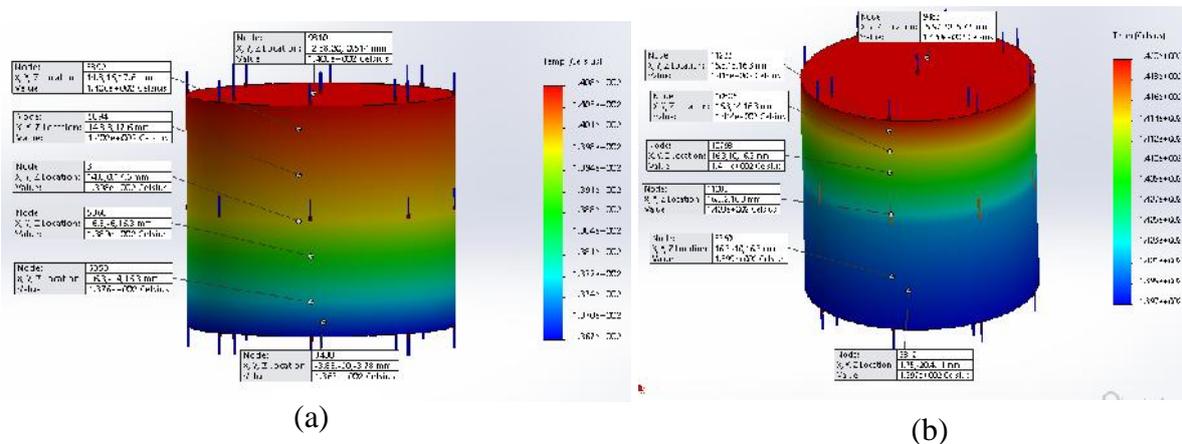
Sampel	Temperatur	Waktu Kecepatan Solidifikasi
<i>Non-Treatment</i>	150 °C	5 menit 9 detik
	180 °C	25 menit 2 detik
Frekuensi 4 Hz	150 °C	2 menit 4 detik
	183 °C	18 menit 2 detik
Frekuensi 5 Hz	150 °C	1 menit 7 detik
	183 °C	16 menit 3 detik
Frekuensi 6 Hz	150 °C	1 menit 2 detik
	183 °C	14 menit 6 detik

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. Laju pendinginan yang semakin cepat juga dapat disebabkan karena pengaruh getaran yang menghancurkan gelembung kavitas yang berupa uap ataupun gas, sehingga menyebabkan tekanan dan laju pendinginan dalam logam cair semakin meningkat [2].

) **Profil Pendinginan pada Logam Cair setelah diberi Perlakuan Getaran**

Untuk mengetahui bagaimana profil temperatur pada saat waktu solidifikasi serta mengetahui *heat transfer* yang terjadi, maka digunakan software Solidworks Simulation.

Hasil dari software Solidworks Simulation berupa *modeling* yang dibentuk menyerupai bentuk sampel yang dapat dilihat pada Gambar 7.a dan 7.b



**Gambar 7.** a) Sampel *Non-Treatment* b) Sampel Perlakuan Getaran 6 Hz pada Temperatur 150 °C

Pada Gambar 7.a dan 7.b laju perpindahan panas dapat dilihat melalui hasil simulasi. 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 yang dapat dilihat melalui hasil simulasi gambar diatas.

#### 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.

## 5. REFERENSI

- [1] Flemings M C, Nereo G E “*Macrosegregation: part 1.*” Trans. Metall. Soc. AIME. 1967
- [2] Banea, Alexandru Stefan, & friends. “*Study on The Influence of Mechanical Vibrations Alloys Properties*”. International Conference of Scientific Paper AFASES: Brasov. 2011
- [3] B. Chalmers, “*Solidification of Metals*” New York, Wiley, p.265-266. 1964
- [4] Y.M. Zulaida “*The Influence of Cooling Rate on Macrosegregation in Bi-Sn Alloy*” Metallurgy Department, Sultan Ageng Tirtayasa University, Banten, Indonesia. 2015