

# ANALISA PERKEMBANGAN STRUKTUR ALUMINUM (AC2B) DENGAN PENGARUH PENAMBAHAN STRONSIUM PADA PART TRANSMISI SUB ASSY MENGGUNAKAN METODE PENGECORAN GRAVITY DIES CASTING

**Dicky Antonius**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Kristen Indonesia  
Jurusan teknik Mesin  
dicky.antoniuss@uki.ac.id

**Budiarto**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Kristen Indonesia  
Jurusan teknik Mesin  
budiarto@uki.ac.id

**Priyono Atmadi**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Kristen Indonesia  
Jurusan Teknik Mesin  
priyonoatmadi@yahoo.com

**Rakha Anugrah Pratama**

Mahasiswa S1  
Universitas Kristen Indonesia  
Jurusan Teknik Mesin  
rakha\_ap@rocketmail.com

*Recently, one of the problems faced by the automotive industry is the frequent failure parts produced by casting processes such as uncomplete filling, low mechanical properties, shrinkage (non-uniform shrinkage), and porosity. In this research, the modification method with the addition of strontium while aluminum being melted is held. This experiment was made to solve either the shrinkage problem or porosity. The improvement of the mechanical properties of aluminum also become one of the purposes of the experiment. The concentration of strontium added was 0 wt.% Sr, 0.005wt.% Sr, 0.0075wt.% Sr, and 0.01 wt.%. The results show that the increased Sr content on AC2B will increase the mechanical properties, while the optimum value occurred by addition value 0.01wt. % Sr. However the results also show that the concentration of strontium has no effect on reducing shrinkage porosity, and can reduce the size of aluminum dendrites.*

**Keywords:** Modifier, AlSr, AC2B, Gravity Die Casting, Transmisi Sub Assy.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan produk berbahan dasar Aluminium mengalami peningkatan pesat dalam kurun waktu lima tahun terakhir sebesar 3.5% khususnya dalam pangsa pasar otomotif. Proses pembuatan Aluminium dapat dilakukan dengan berbagai metoda seperti casting, forming, extraction, atau powder metallurgy. Pemilihan metode pembuatan dipilih berdasarkan jenis dan spesifikasi barang yang akan dibuat, jumlah barang serta kualitas produk. Casting merupakan salah satu teknik pembuatan material dengan cara mencairkan base material ingot/scraft dengan bahan paduan lain pada suhu tertentu hingga kondisi cair lalu dituang kedalam rongga cetak hingga terjadi proses pembekuan. Metoda casting banyak digunakan dalam berbagai industry otomotif karena prosesnya relatif lebih mudah, ekonomis serta waktu pembuatan yang singkat. Pada dasarnya, part yang terbuat dari aluminium memiliki banyak keunggulan, diantaranya densitas yang rendah (ringan), ketahanan korosi yang tinggi, dll. Namun dikarenakan Aluminium mempunyai beberapa kekurangan yang fatal seperti sifat mekaniknya yang rendah (ketahanan, kekerasan, dll), maka biasanya dilakukan penambahan unsur logam/nonlogam lainnya seperti tembaga (Cu), Magnesium (Mg), Silicon (Si), Mangan (Mn), dan Seng (Zn) untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Atau biasanya dilakukan beberapa metode penambahan seperti zirconia [1]

Walau metode penambahan diatas sudah sedemikian beragam, permasalahan yang terjadi pada proses casting relative masih cukup banyak dan rumit. Jenis permasalahan yang terjadi sangat beragam misalnya seperti penyusutan dimensi, misrun, sifat mekanis rendah, dan terjadinya porositas pada hasil coran. Porositas biasanya terjadi disebabkan oleh tiga hal, yang pertama disebabkan oleh adanya gas hidrogen yang masuk kedalam logam cair saat proses pengecoran, kedua yang terjadi akibat dari kotaran yang terbawa saat proses

penyusutan cairan Aluminium kedalam cavity, dan ketiga terjadi karena adanya penyusutan yang disebabkan oleh perbedaan suhu saat proses pembekuan. Jenis-jenis kegagalan diatas merupakan hal yang tidak diinginkan oleh pihak industri otomotif karena dapat mengakibatkan penurunan kualitas pada produk itu sendiri [2] [3].

Cukup banyak penelitian yang meneliti mengenai pengaruh Stronsium pada Aluminium casting, namun penelitian ini secara spesifik untuk mengetahui batas maksimal penggunaan stronsium dalam mengurangi terjadinya porositi shrinkage. Dari infomasi yang diperoleh dari literatur [4]. Stronsium pada paduan Aluminium tuang ini akan meningkatkan sifat mekanis dan mengurangi terjadinya porositas, sedangkan sifat fluiditas juga meningkat namun tidak terlalu signifikan.

### 1.2. Gravity Die Casting

*Gravity die casting* atau yang sering dikenal dengan metoda pengecoran permanent mould atau chill logam cair dituangkan dalam media cetak berbahan dasar logam yang dilapisi bahan refraktori ataupun dies. Metoda berikut digunakan untuk produksi dalam jumlah massal dengan benda produksi yang relatif besar berkisar antara 1-50kg [5] lebih besar jika diperlukan menyesuaikan kondisi mesin dan alat-alat penunjang. Permanent mould casting mensuplai berdasarkan gaya gravitasi sehingga pouring rate relatif rendah, termasuk dalam kecepatan pembekuan medium. Berikut adalah karakteristik jangkauan dari kecepatan pendinginan berdasarkan dari variasi proses casting [3]:

**Tabel 1.** Kecepatan Pendinginan Berbagai Proses

PROSES PENGECORAN	KECEPATAN PENDINGINAN (C/S)	JARAK <i>DENDRITE-ARM</i> , M
Pasir cetak	0,05 – 0,2	$(0,1 - 2) \cdot 10^{-3}$
Pasir Cetak, kulit	0,1 – 0,5	$(0,05 - 0,5) \cdot 10^{-3}$
Cetakan Permanen	0,3 – 1	$(0,03 - 0,07) \cdot 10^{-3}$
Cetakan Pola	50 – 500	$(0,005 - 0,00115) \cdot 10^{-3}$
Kontinu	0,5 – 2	$(0,03 - 0,07) \cdot 10^{-3}$

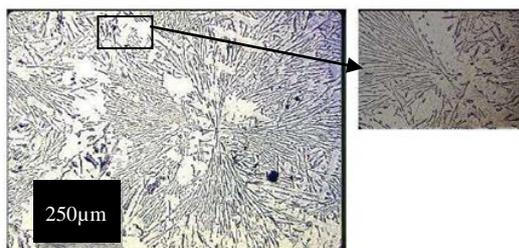
Dies untuk permanent mould dbuat dari material dengan struktur butiran yang baik seperti pearlitic cast iron atau low alloy steel. Pemberian coating pada dies diperuntukan untuk mengurangi heat transfer pada dies sehingga kecepatan pendinginan lebih cepat jika dibandingkan dengan media cetak berbahan pasir. Waktu penahan hingga benda dapat dikeluarkan dari dies sekitar 4-10 menit tergantung dari jenis benda casting. Umumnya dies digunakan pada suhu 300-350°C [5].

### 1.3. Aluminium Alloy (Al-Si)

Aluminium umumnya digunakan sebagai unsur paduan berbagai logam murni dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dan mampu cor yang baik seperti yang diinginkan dengan tidak menghilangkan sifat asli dari Aluminium itu sendiri, Berikut beberapa paduan yang umumnya dipadukan dengan Aluminium; Tembaga, Silicon, Magnesium, Mangan, Nikel, dan sebagainya.

Secara teknis kandungan Si pada paduan ini adalah sampai dengan 20%. Lebih dari itu Si akan membentuk kotoran didalam paduan. Diagram biner paduan ini membentuk sebuah eutektik yang sederhana pada temperatur 577° C dengan komposisi Si 11.7%. Al pada keadaan padat hanya mampu melarutkan sedikit saja Si, dimana kelarutan Si ini di dalam kristal campuran akan menurun drastis bersama dengan penurunan temperatur. Paduan ini praktis tidak dapat dikeraskan dengan kekuatan (kekerasan dan mampu tarik) akan naik bersama dengan kenaikan kandungan Si.

Hypoeutectic yaitu apabila terdapat kandungan silikon < 11.7 % dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur Ferrite (alpha) kaya Aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan



**Gambar 1.** Struktur Mikro Al-Si Hypoeutectic [6].

#### 1.4. Modifier

Salah satu treatment dalam aluminium adalah modifier, yaitu penambahan zat non-ferous terhadap ferous untuk memperbaiki sifat dan karakterisasinya

Dalam sistem periodik kimia, stronsium termasuk jenis logam yang masuk kedalam golongan IIA periode ke-5. Stronsium yang memiliki simbol (Sr), memiliki nomor atom 38 dan massa atom 87.62 serta melebur pada suhu  $751^{\circ}\text{C}$  ini merupakan salah satu jenis modifier yang bisa digunakan untuk memodifikasi kristal silikon paduan Aluminium-silikon hipoeutektik [7]. Sama halnya dengan modifier jenis lain seperti sodium dan kalsium, proses modifikasi dengan stronsium ini bertujuan untuk menghambat pertumbuhan kristal-kristal silikon dalam paduan Aluminium-silikon hipoeutektik, yang awalnya berstruktur lamellar (seperti bentuk jarum) menjadi fibrous sehingga dengan terjadinya modifikasi ini akan meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan paduan Aluminium-silikon hipoeutektik. Selain itu, fungsi lain dari modifier ini adalah untuk meningkatkan kekuatan impak dan fracture, meningkatkan kekuatan fatik, sifat mampu (machinability) lebih baik, kecenderungan hot tearing (retak panas) rendah, serta meningkatkan sifat fluiditas.

Pemberian stronsium pada Aluminium-silikon hipoeutektik tidak hanya memberikan efek positif, namun juga ada efek negatifnya yaitu terhadap peningkatan jumlah porositas, dan porositas menjadi terdistribusi merata. Dari literatur yang ada peningkatan porositas disebabkan karena [8]:

1. Stronsium dapat menurunkan tegangan permukaan Aluminium cair sehingga membuat gas hidrogen mudah masuk ke dalam Aluminium cair.
2. Stronsium membentuk lapisan oksida  $\text{SrO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  pada Aluminium cair, dimana Slapisan oksida ini tidak bersifat protektif daripada lapisan oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada Aluminium yang tidak diberikan stronsium. Pembentukan lapisan oksida  $\text{SrO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tidak bersifat protektif ini mengakibatkan gas hidrogen mudah masuk ke dalam Aluminium cair.

#### 1.5. Literatur dan gap

Banyak informasi penelitian yang disediakan yang menggambarkan tentang penambahan stronsium terhadap aluminium dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat mekaniknya. Baik itu kekerasannya [9], kekuatannya [10] atau bahkan beberapa sifat mekanik lainnya seperti kekuatan impak atau kemampuan lelehnya [11], dan lainnya [12]

Namun sedikit penelitian yang mempelajari tentang perubahan struktur yang terjadi ketika stronsium ditambahkan kepada aluminium. Tahun 2006 Stuart D Mc Donald meneliti penambahan stronsium cukup detail dari mulai 30ppm hingga 720ppm. Perkembangan yang ditunjukkan cukup signifikan, namun kebanyakan mikrostruktur menunjukkan pola yang sama [13].

Baru-baru ini J.M Yu dkk, [14] mempelajari perubahan mikrostruktur dengan penambahan impurity dan juga stronsium, namun penelitian ini menunjukkan perkembangan yang tidak spesifik karena range penambahan yang cukup besar. Dan beberapa penelitian menunjukkan pengaruh stronsium walau dengan metode casting yang berbeda [1] [6] [15]

Dengan demikian penelitian ini bertujuan mempelajari perubahan struktur yang terjadi terhadap aluminium dengan penambahan stronsium.

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1. Alat-alat dan Bahan

Parameter tetap yang digunakan meliputi material, jenis Modifier, metoda peleburan dan cetakan permanent mould casting berbahan baja P20. Material Ingot yang digunakan dalam peleburan ini adalah AC2B dengan komposisi seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Ingot untuk AC2B standar JIS H 5202. Komposisi tervalidasi.

Jenis modifier yang digunakan adalah Modifier type 3, AlSr 10% dalam bentuk batang silinder. Presentase 0%-0.25% berat cairan. Komposisi modifier tervalidasi dengan pengujian EDS. Variasi penambahan 0wt. %Sr, 0.005wt. %Sr, 0,0075wt. %Sr, dan 0,01 wt. %Sr.

Jenis flux yang digunakan pada penelitian ini adalah hygroscopic salt NaCl. Komposisi flux tervalidasi pengujian komposisi EDS. Temperatur yang digunakan saat proses pengecoran aluminium ditetapkan diangka 740°C. Sehingga mudah untuk mengontrol hasil coran yang dihasilkan

**Tabel 2.** Komposisi AC2B

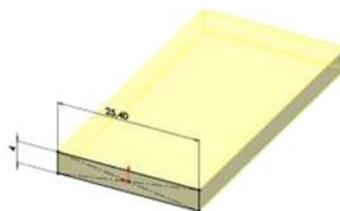
Simbol	Komposisi
Cu	2 – 4 %
Si	5 – 7 %
Mg	0.5% Maks.
Zn	1% Maks.
Fe	1% Maks.
Mn	0.5% Maks.
Ni	0.35% Maks.
Ti	0.2% Maks.
Pb	0.2% Maks.
Sn	0.1% Maks.
Cr	0.2% Maks.
Al	Sisanya

Pembuatan specimen sampel uji mengacu pada standar ASTM B-108-01, menyesuaikan pada metoda pengecoran dengan permanent mould casting.

### 2.2. Pengujian

#### Uji Kekerasan

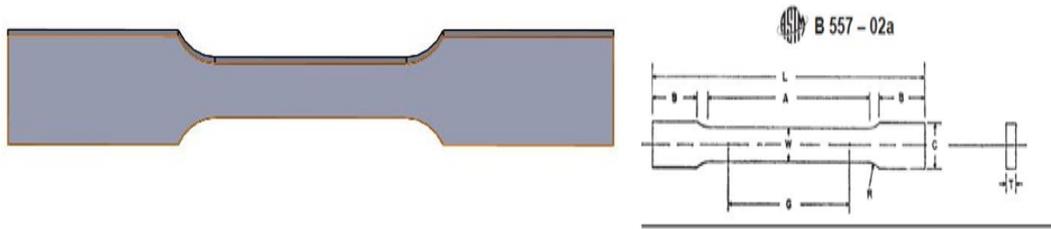
Pengujian kekerasan ini dilakukan berdasarkan standard ASTM E18. Pengujian kekerasan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan sampel sebelum dan sesudah penambahan stronsium untuk tiap variasi penambahan stronsium. Untuk mengetahui nilai kekerasan pengujian menggunakan alat uji kekerasan Rockwell B. Sementara beban yang dipakai adalah 100 kg.



**Gambar 2.** Sample Uji Kekerasan

#### Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik. Pengujian tarik dilakukan berdasarkan ASM E8-09. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari paduan aluminium tuang AC2B sebelum dan sesudah dilakukan penambahan stronsium.



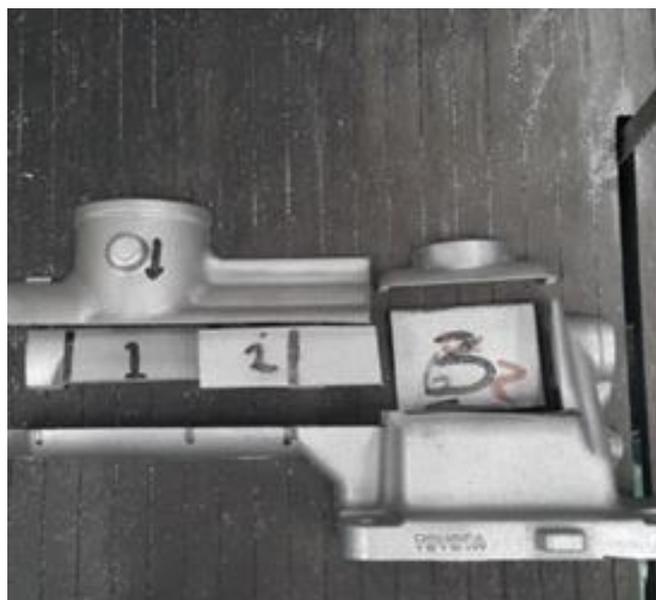
**Gambar 3.** Sample Uji Tarik

**Tabel 3. Dimensi Sampel uji standar ASTM E8-03**

	DIMENSION, IN	
	Standar	Spesimen
	Standar Tipe lembar, 0,0127m, lebar	Spesimen Ukuran Spesimen 0,00635m, Lebar
G – Panjang Utama	$0,0508 \pm 0,000127\text{m}$	$0,02505 \pm 0,0000762\text{m}$
W – Lebar Utama (Note 1 and Note 2)	$0,500 + 0,010\text{m}$	$0,250 + 0,002\text{m}$
T – Tebal spesimen (Note 3)	Tebal Material	Tebal Material
R – Jari-jari lengkungan, min	0,0127m	0,00635m
L – Panjang Spesimen Total, min.	0,2032m	0,1016m
A – Panjang bagian spesimen yang dengan lebar utama, min.	0,05715m	0,03175m
B – Panjang bagian yang dijepit, min.	0,0508m	0,03175m
C – Lebar bagian yang dijepit, kira-kira	0,01905m	0,009525m

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Dari 4 proses variatif didapatkan sample uji untuk dilakukan proses penelitian dari hasil pengecoran.

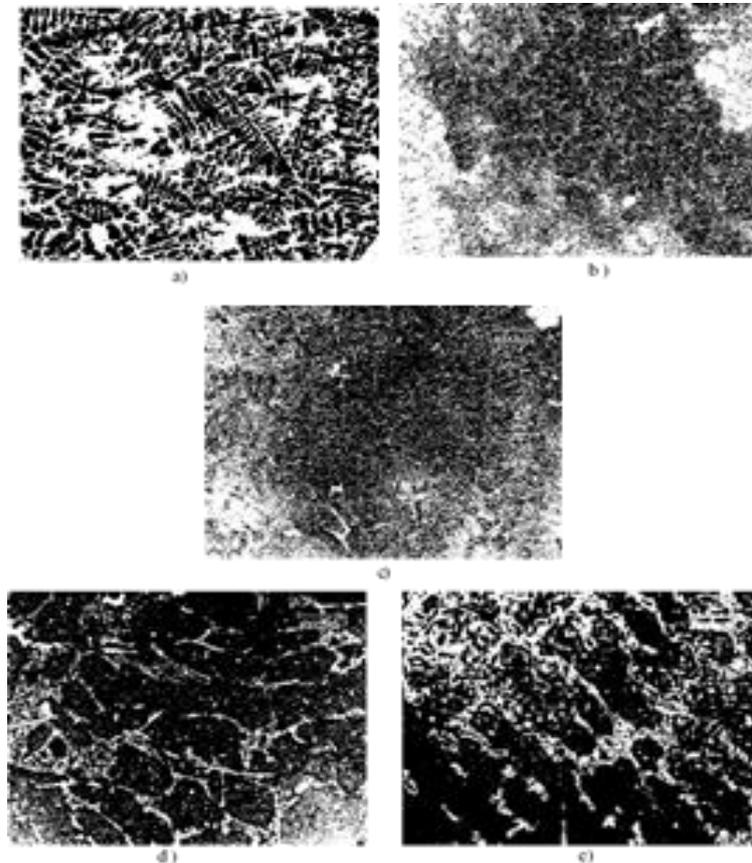


**Gambar 4.** Part Transmisi Sub Assy

Proses pengecoran dilakukan dengan perbandingan komposisi Ingot: Scrap 60%:40% setelah ingot aluminium dan scrap/return material AC2B.

### 3.1. Pengujian Sturuktur Mikro

Berikut hasil pengujian struktur mikro dari masing masing prosentase variasi pada kondisi:



**Gambar 5.** Pengujian Struktur Mikro a)As-Cast, b) 0wt. %Sr, c) 0.005wt. %Sr, d) 0,0075wt. %Sr, e) 0,01 wt. %Sr

Hasil pengamatan pada Gambar 5 a) adalah gambar yang dihasilkan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x, pada as-cast atau tanpa penambahan stronsium. Struktur mikro didominasi oleh fasa dendrit yang terbentuk, garis hitam yang hampir menyerupai (pohon cemara). Ukuran dendrit yang berdekatan dengan jarak 21.21  $\mu\text{m}$ . Dari hasil pengamatan dengan menggunakan software ImageJ bagian yang berwarna hitam Si-Primer pada struktur mikro 57.31% bagian yang berwarna putih Al-Primer hanya 42.68% sehingga dimungkinkan rendahnya mechanical properties disebabkan oleh ukuran butiran yang besar. Diperlihatkan juga pada gambar (a), bahwa struktur yang terbentuk pada awal adalah struktur eutectoid pada umumnya, yaitu aluminium dan silikon yang bergumpal yang membentuk koloni. [6]

Hasil pengamatan pada Gambar 5 b) dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x, pada variasi 0wt. %Sr menunjukkan hal yang berbeda. Terbentuk senyawa intermetalik pada batas butir dan Si- primer. Dari hasil pengamatan dengan menggunakan software ImageJ bagian yang berwarna putih Si-Primer pada struktur mikro 37.22% bagian yang berwarna hitam Al-Primer hanya 62.78%.

Sedikit perbedaan terlihat pada Gambar 5 c), Hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x, pada variasi 0.005wt. %Sr menunjukkan terbentuknya senyawa intermetalik pada batas butir, Si- primer, dan Al-Primer. Dari hasil pengamatan dengan menggunakan software ImageJ bagian yang berwarna putih Si-Primer pada struktur mikro 35.97% bagian yang berwarna hitam Al-primer hanya 64.03%. walaupun demikian Gambar 5 (b) dan 5 (c) menunjukkan perubahan struktur yang mirip.

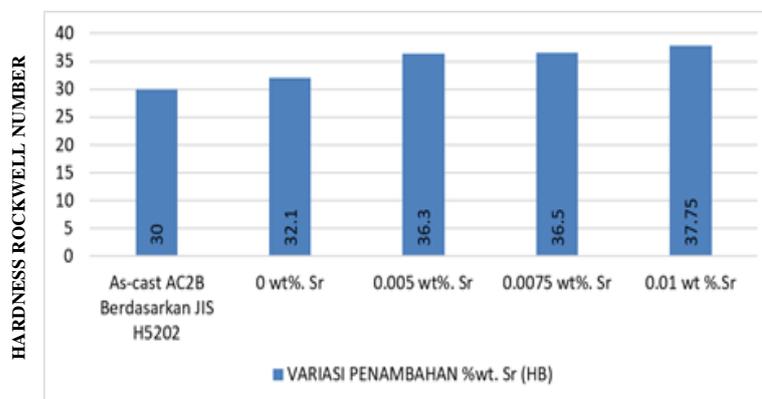
Berbeda halnya dengan Gambar 5 b) dan 5 c), hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x, pada variasi 0.0075wt. %Sr yang ditunjukkan pada Gambar 5 d) memperlihatkan terbentuknya senyawa intermetalik pada batas butir, Si- primer, dan Al-Primer. Fasa Si-Primer yang lebih

terkumpul dibandingkan variasi penambahan stronsium sebelumnya disebabkan karena banyaknya unsur silikon yang mulai berikatan dengan unsur stronsium. Menghasilkan kekuatan tarik 208 mpa dan kekerasan 36.5 HB. Dari hasil pengamatan dengan menggunakan software ImageJ bagian yang berwarna putih Si-Primer pada struktur mikro 27.62% bagian yang berwarna hitam Al-Primer hanya 72.38%. Pada Gambar 5 d) juga memperlihatkan struktur yang jauh berbeda dengan struktur sebelumnya.

Sedangkan Gambar 5 e) memperlihatkan hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x pada variasi 0.01 wt. %Sr yang menunjukkan senyawa Al-Primer yang mendominasi ditandai dengan warna hitam dan Si-Primer yang berwarna putih, terlihat bahwa penambahan stronsium menghasilkan terbentuknya Al-Primer yang menyebabkan mechanical properties dari material tersebut meningkat. Menghasilkan kekuatan tarik 211 Mpa dan kekerasan 37.75 HB. Dari hasil pengamatan dengan menggunakan software ImageJ bagian yang berwarna hitam Al-Primer pada struktur mikro 74.58% bagian yang berwarna putih Si-Primer hanya 25.42% sehingga dimungkinkan kenaikan mechanical properties disebabkan oleh fasa Al-Primer yang mendominasi. Gambar (d) dan (e) menunjukkan perubahan struktur yang lebih kedepan lagi. Silikon membentuk serat-serat/benang-benang yang membuat

### 3.2. Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada Gambar 7 menunjukkan data kekerasan yang relatif meningkat seiring dengan penambahan stronsium dalam paduan aluminium tuang AC2B untuk tiap variasi penambahan, walau penambahan kekerasan yang diperoleh tidak sama.



**Gambar 5.** Nilai kekerasan Rockwell

Dari gambar 7 tampak bahwa kekerasan paling tinggi 37.75 HB (untuk 0.1 wt % Sr) dengan awal as-cast 32.2 HB (untuk 0 wt. %Sr) atau meningkat sekitar 5.5 HB atau meningkat 14.8%. Nilai kekerasan tertinggi didapat dengan penambahan 0.01 wt. %Sr. Jika mengacu pada literatur diatas maka dapat disimpulkan perbandingan antara kekuatan tarik dan kekerasan berbanding lurus, dimana nilai kekuatan tarik meningkat maka nilai kekekuatan tekan pun akan meningkat. Hasil ini cukup berlawanan dengan informasi yang disediakan selama ini [11]

Fase dengan 0.005wt% Sr mengubah struktur dari aluminium seperti dijelaskan pada mikrostruktur sebelumnya, Aluminium dan silikon yang mendominasi berubah bentuk menjadi ukuran serbuk yang tersebar. Grainsize pada struktur jelas mengalami penurunan ukuran, yang jelas akan meningkatkan kekerasan dari aluminium. [16]

### 3.3. Pengujian Tarik

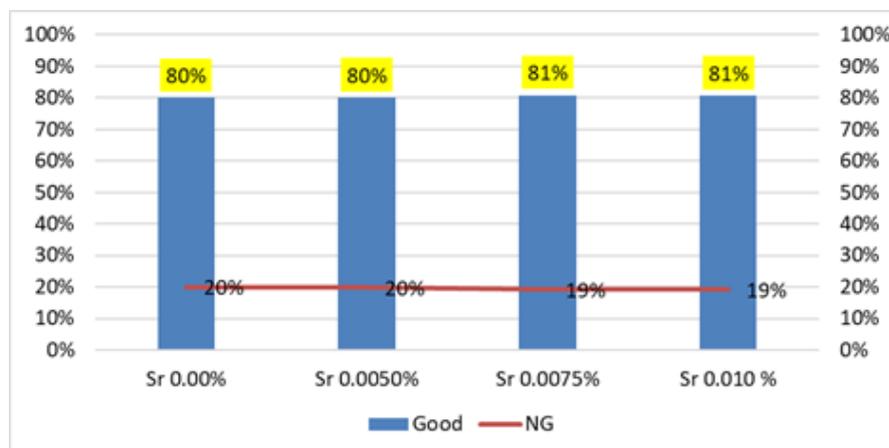
Nilai rata-rata hasil pengujian kekerasan dan pengujian tarik ditampilkan pada tabel III. Terlihat pada tabel III, menunjukkan data kekerasan yang meningkat seiring dengan penambahan stronsium dalam paduan aluminium tuang AC2B. Tampak bahwa dengan penambahan Sr kekuatan tarik meningkat pada kondisi as-cast 150 Mpa menjadi 214.6 Mpa (untuk 0.01 wt. %Sr) atau meningkat 64.4 MPa (sekitar 30.1%). Hasil yang ditunjukkan selaras dengan yang ditunjukkan pada penelitian-penelitian sebelumnya [11] [9]

**Tabel 4.** Tabel hasil pengujian Tarik

NO	POINT KARAKTERISTIK SPESIMEN			VALIDASI
	Variasi Penambahan % wr. Sr	Tegangan Tarik Min 150 MPa	Elongasi Min 1%	
1	AC2B Berdasarkan JIS H5202	150	1	OK
2				OK
3	0% Wt.Sr	164.8	2	OK
4		196	2.2	OK
5	0.005% Wt.Sr	212.1	2.7	OK
6		206.4	3.1	OK
7	0.0075% Wt.Sr	208.3	2.8	OK
8		214.2	2.8	OK
9	0.01% Wt.Sr	211.3	3.3	OK
10		214.6	3.1	OK

### 3.4. Pengujian Porositas Transmisi Sub Assy

Hasil penambahan variasi unsur stronsium pada part Transmisi Sub Assy tidak memberikan dampak yang sangat signifikan pada hasil casting jika dilihat dari aspek porositasnya. Ini diperlihatkan pada Gambar 8. Untuk penambahan 0wt. %Sr kegagalan pada shrinkage porosity 20%, Untuk penambahan 0.005wt. %Sr kegagalan pada *shrinkage porosity* 20%, Untuk penambahan 0,0075wt. %Sr kegagalan pada shrinkage porosity 19%, dan Untuk penambahan 0,01 wt. %Sr kegagalan pada *shrinkage porosity* 19%. Sehingga dari hasil tersebut dapat disimpulkan dengan penambahan variasi 0,0075wt. % Sr - 0,01 wt. % Sr kegagalan shrinkage porosity berkurang 1% dari tidak penambahan unsur stronsium pada aluminium.



**Gambar 6.** Kegagalan Transmisi Sub Assy

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Penambahan variasi stronsium 0wt. %Sr, 0.005wt. %Sr, 0,0075wt. %Sr, dan 0,01 wt. %Sr akan:
  - Nilai maksimal didapat pada penambahan 0,01 wt. %Sr dengan nilai kekuatan tarik 214.6 Mpa dan nilai kekerasan 37.75 HRB.
  - Pada penambahan 0.005wt. %Sr & 0,0075wt. %Sr tidak banyak nilai yang berbeda jauh / tidak signifikan saat proses penambahan.
  - Meningkatkan kekuatan tarik sebesar 30.1% dan kekuatan tekan 14.8%
  - Meningkatkan jumlah porositas dan porositas terdistribusi merata.
  - Menurunkan ukuran Dendrit Arm Spacing (DAS)
- Penambahan stronsium (modifikasi) pada penelitian ini, pada paduan aluminium AC2B belum dapat

mengatasi problem shrinkage porosity.

3. Fasa- fasa yang terbentuk untuk tiap variasi wt.% stronsium adalah sama yaitu fasa Al-Fe-Mn-Si, fasa kristal silikon dan fasa  $\alpha$ -aluminium.
4. Penambahan Stronsium membuat fase dari Aluminium yang tadinya berbentuk agak bulat dan koloni, berubah menjadi serbuk untuk penambahan 0.005%, dan menjadi serat ketika ditambahkan hingga 0.01%

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. WARDHANA, “Pengaruh Penambahan Fraksi Berat Zirconia terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Aluminium Diperkuat Zirconia yang diproduksi dengan Metalurgi Serbuk,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 5, pp. 263 - 269, 2014.
- [2] W. M. RASMUSSEN, *Aluminium Casting Technology*, Pennsylvania State: American Foundrymen's Society, 1993, 1986.
- [3] J.R.DAVIS, *ASM SPECIALTY HANDBOOK: Aluminium and Aluminium Alloys*, Ohio, 1993.
- [4] R. GALLO, *Gas Porosity In Aluminium Casting. Compiled Literature.*, American Foundry Society, 2002.
- [5] J. BROWN, *FOSECO NON-FERROUS FOUNDRYMAN'S HANDBOOK*, Auckland: Foseco International Ltd, 1999.
- [6] A. S. H. A. P. G. SANDERS, “Hypoeutectoid Aluminium-Silicon Alloy Development for Graw-Based 3D Printing using Wedge Casting,” *International Journal of Metalurgy*, vol. 11, pp. 843 - 856, 2017.
- [7] A. I. TEAM, *ASM SPECIALTY HANDBOOK 15: Casting*, Ohio: ASM international, 2008.
- [8] D. E. M. S. N. GAUTAM KRISHNAN.R, “Study of Strontium in Aluminium Alloy,” *International Journal of Engineering Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, pp. 753-760, 2013.
- [9] SUHERMAN, A. PANJAITAN, S. MIZHAR dan A. HANDOKO, “Pengaruh Penambahan Sr terhadap Struktur Mikro Kekerasan dan Ketangguhan Paduan Aluminium A319,” *Politeknik Tanjung Balai*, 2017.
- [10] J. E. GRUZELSKI dan B. CLOSSET, *Treatment of Liquid Aluminium-Silicon Alloys*, American Foundrymen's Society, 1990.
- [11] C. M. MR. MANJUNATH dan D. PUROHIT, “A Study of Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Silicon Carbide Metal Matrix Composites (MMC's),” *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, vol. 2, pp. 690 - 700, 2013.
- [12] B. KULUNK dan D. ZULIANI, “Applications for the Strontium Treatment of Wrought and Die-Cast Al,” *JOM*, pp. 60 - 61, 1996.
- [13] D. STUART, D. MCDONALD, “Eutectic grain size and strontium concentration in hypoeutectic aluminium-silicon alloys,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 442, pp. 184 - 191, 2006.
- [14] J.M. YU, “Influence of impurities, strontium addition and cooling rate on microstructure evolution in Al-10Si-0.3Fe casting alloys,” *Journal of Alloys and Compound*, vol. 766, pp. 818 - 827, 2018.
- [15] N. TENEKEDJIEV dan J. E. GRUZLESKI, “Hypereutectic Aluminium-Silicon Casting Alloys—A Review,” *CAST METALS*, vol. 3, pp. 96 - 105, 1990.
- [16] W. D. CALLISTER, *Material Science and Engineering an Introduction*, Canada: John Willey & Sons, Inc, 1997.
- [17] I. AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, second Edition: *Aluminium Casting Technology*, 1997.