

## Pengaruh Kemiringan Sumbu Putar Cetakan Sentrifugal Terhadap Distribusi Sifat Mekanik Hasil Coran

Djarot B. Darmadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
E-mail : b\_darmadi\_djarot@yahoo.com

### Abstrak

Terdapat tiga aspek penting yang menentukan hasil coran, yakni aspek kesempurnaan pengisian rongga cetakan, fenomena transformasi masa, dan aspek solidifikasi. Dua aspek pertama tentu saja dipengaruhi oleh resultan gaya-gaya yang terjadi. Kondisi solidifikasi menentukan struktur solidifikasi yang terbentuk sedangkan struktur makro yang terbentuk menentukan sifat mekanis yang dihasilkan. Salah satu kondisi solidifikasi yang menentukan adalah tekanan yang diakibatkan oleh resultan gaya-gaya yang terjadi.

Pada penelitian ini, resultan gaya dicoba direayasa dengan mengatur kemiringan sumbu cetakan. Dengan mudah dapat dipahami resultan gaya yang terjadi pada proses pengecoran yang merupakan jumlah vektor gaya gravitasi bumi dan gaya sentrifugal dipengaruhi oleh sudut sumbu putar. Salah satu aspek penting yang perlu ditelaah adalah **distribusi** sifat mekanis dari hasil coran yang dihasilkan. Karena itu hasil coran yang baik didefinisikan secara lebih spesifik: hasil coran yang memiliki sifat mekanis yang merata.

Hasil pengujian secara umum dapat menunjukkan mulai sudut  $0^\circ$  dengan meningkatnya sudut sumbu putar pengecoran akan didapatkan distribusi sifat mekanis yang semakin merata hingga sudut  $45^\circ$ . Setelah sudut  $45^\circ$  akan diperoleh distribusi sifat mekanis yang semakin berbeda dengan bertambahnya sudut. Atau secara umum dapat dikatakan dengan sudut  $45^\circ$  diperoleh hasil distribusi sifat mekanik yang paling merata.

Kata kunci: Cor sentrifugal, Kemiringan sumbu cetakan, Sifat mekanik.

### Pendahuluan.

Sebagai salah satu teknologi pengolahan logam proses pengecoran merupakan salah satu proses yang banyak digunakan karena dengan pengecoran dapat dihasilkan produk atau komponen-komponen yang rumit dan kompleks. Secara umum, bagi negara yang bergerak kearah modern, jumlah produk pengecoran logam semakin bertambah seperti terlihat pada tabel I.

Tabel I. Produksi Pengecoran Logam di China: 1989-1993

Casting Classification	1989		1990		1991		1992		1993	
	Output (1000t)	%	Output (1000t)	%	Output (1000t)	%	Output (1000t)	%	Output (1000t)	%
Iron Castings	7968	83	7215	81.4	8718	81.1	9408	81.0	9922.94	80.3
Steel Casting	1152	12	1246	14.1	1505	14.0	1538	13.2	1722.56	13.9
Non-ferrous alloy casting	480	5	399	4.5	526	4.9	669.5	5.8	710.08	5.7
<b>TOTAL</b>	9600		8860		10749		11615.5		12355.58	

Sumber: <http://www.foundry-china.com/report/f-report02a.html>

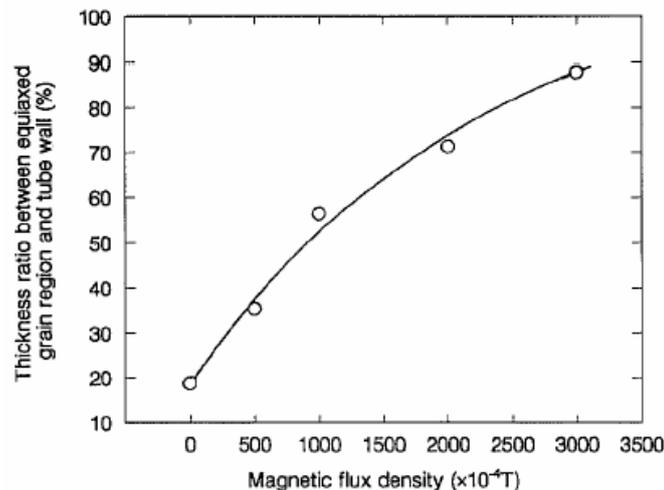
Pada umumnya industri pengecoran logam di Indonesia masih memerlukan pengembangan dan pembinaan yang terarah sehingga kualitas produksi benda coran akan mampu menyaingi produk luar negeri atau paling tidak memiliki kualitas standar. Untuk itu dalam proses pengecoran perlu terus diupayakan peningkatan hasil coran dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil coran. Dari sekian banyak teknik pengecoran logam yang ada di Indonesia salah satunya adalah teknik pengecoran sentrifugal. Pengecoran sentrifugal adalah suatu metode pengecoran logam dengan cara penuangan logam ke dalam cetakan yang berputar dengan kecepatan putar tertentu, sumbu putar bisa pada posisi horizontal, vertikal atau dengan kemiringan yang sesuai sehingga dihasilkan hasil coran yang mampat, karena pengaruh gaya sentrifugal. (Jain, P.L ; 1987: p122).

Dengan alasan perlunya pengembangan pengecoran di Indonesia khususnya dengan fokus pengembangan pada aplikasi pengecoran sentrifugal maka ingin diketahui variabel pengecoran khususnya kemiringan sumbu cetakan untuk mendapatkan hasil pengecoran yang baik yakni hasil coran yang memiliki sifat mekanis yang seragam.

### Tinjauan Pustaka (Penelitian Terdahulu).

Menurut Faccenda (1998), penelitian pada bidang pengecoran kebanyakan terfokus pada kesempurnaan pengisian rongga cetakan. Dalam hal ini masalah yang dijumpai pada pengecoran sentrifugal adalah gaya sentrifugal menyebabkan turbulensi dari logam cair sehingga meningkatkan kemungkinan terjebaknya gas yang akan menyebabkan porositas. Masalah lain adalah tekanan yang tinggi pada rongga cetakan akibat gaya sentrifugal meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat seperti inklusi dari material non logam dan terjadinya retak. Tetapi pada sisi lain gaya sentrifugal yang terjadi memperbaiki kemampuan logam cair untuk mengisi cetakan.

Yang *et.al.* (2000) menerapkan gaya magnet dalam proses pengecoran sentrifugal. Gaya magnet ini menyebabkan gaya pengadukan (*Electromagnetic Stiring – EMS*) yang akan mempengaruhi struktur solidifikasi hasil pengecoran. EMS diperoleh dengan menempatkan sepasang medan elektromagnetik yang diam pada cairan logam yang berputar pada proses pengecoran sentrifugal. Tujuan dari EMS untuk menghindari terjadinya butir-butir yang berbentuk kolom (*columnar grains*) yang biasa dijumpai pada proses pengecoran sentrifugal konvensional. Dengan bertambahnya gaya medan magnet struktur solidifikasi berkembang dari butir kasar berbentuk kolom menjadi campuran butir halus berbentuk kolom dan butiran *equiaxed* hingga butiran halus *equiaxed*.



**Gambar 1.** Rasio tebal daerah butiran *equiaxed* dan tebal dinding vs kepadatan flux magnetik.

Variasi dari perbandingan tebal daerah butiran *equiaxed* dan tebal dinding diukur pada arah transversal secara numerik ditunjukkan pada gambar 1. Struktur butiran yang terbentuk ini tentu saja mempengaruhi sifat mekanik coran yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan terdapat perbaikan sifat mekanis hasil coran dengan penambahan medan elektromagnetik.

Salah satu fenomena yang menentukan perilaku dari hasil coran adalah fenomena transportasi masa (Torii, *et.al.* – 2003). Kajian pada tulisan tersebut ditekankan pada visualisasi dari transportasi masa dari kondisi praktis pembuatan material fiber yang diproduksi dengan metode pengecoran sentrifugal. Kecepatan putar yang didefinisikan sebagai bilangan G, ukuran partikel, diameter silinder, serta massa filler (partikel) dan massa matrik menentukan fenomena transportasi masa yang terjadi.

Chang, S.R *et.al* (2001) menyatakan bahwa pertumbuhan butir logam cor pada pengecoran sentrifugal dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh perputaran cetakan. Gaya gravitasi akan berpengaruh pada pergerakan fluida sehingga akan berefek pada distribusi kemampuan logam cor. Pertumbuhan butir terutama dendrite akan searah dengan gaya gravitasi, sehingga pada pengecoran sentrifugal vertikal kemampuan butir paling

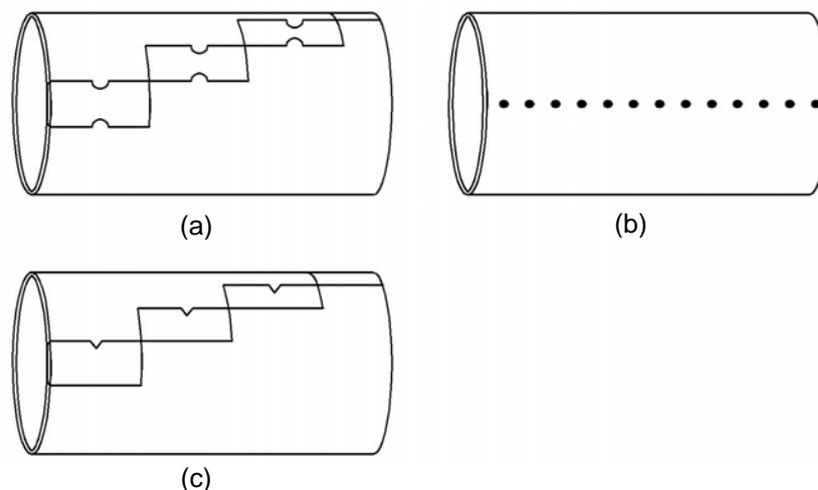
tinggi akan berada di bagian bawah cetakan. Artinya tidak diperoleh distribusi yang merata antara bagian atas hingga bagian bawah yang tentunya hasil seperti ini tidak dikehendaki.

Berdasarkan latar belakang dan telaah pustaka yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa paling tidak ada tiga aspek penting yang menentukan sifat mekanis hasil coran. Pertama adalah aspek kesempurnaan pengisian rongga cetakan. Aspek tersebut dijumpai pada proses pengecoran untuk menghasilkan bentuk-bentuk yang rumit. Kedua adalah fenomena transformasi masa (Torii - 2003). Tidak bisa tidak transformasi masa dipengaruhi oleh vektor gaya resultan yang terjadi pada sistem. Ketiga adalah aspek solidifikasi yang terjadi. Aspek solidifikasi menjadi penting, karena kondisi solidifikasi menentukan struktur solidifikasi (struktur makro) yang terbentuk sedangkan struktur makro yang terbentuk menentukan sifat mekanis yang dihasilkan. Salah satu kondisi solidifikasi yang menentukan adalah tekanan yang diakibatkan oleh resultan gaya-gaya yang terjadi. Gaya-gaya tersebut dapat disengaja ditimbulkan seperti penggunaan medan magnet (Yang *et.al* - 2000) atau gaya yang terjadi secara alami seperti gaya sentrifugal dan gaya gravitasi bumi (Chang *et.al* - 2001). Dengan mudah dapat dipahami resultan gaya yang terjadi pada proses pengecoran yang merupakan jumlah vektor gaya gravitasi bumi dan gaya sentrifugal dipengaruhi oleh sudut sumbu putar yang akan merubah arah gaya sentrifugal.

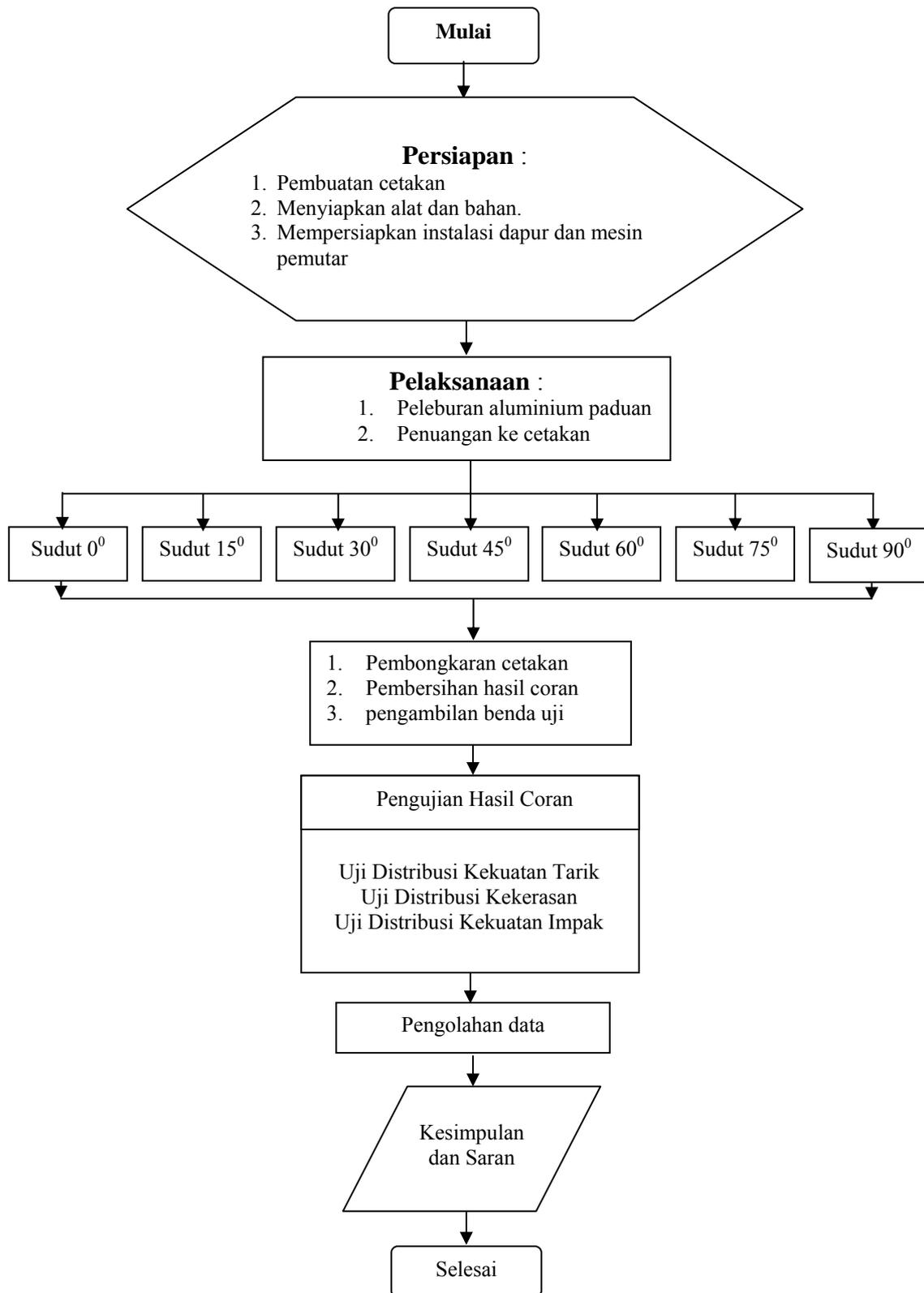
Salah satu aspek penting yang belum ditelaah adalah **distribusi** sifat mekanis dari hasil coran yang dihasilkan. Karena itu peneliti mengajukan usul kegiatan penelitian ini dalam usaha untuk mendapatkan hasil coran yang baik, secara lebih spesifik: hasil coran yang memiliki sifat mekanis yang merata.

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental murni. Kegiatan penelitian secara menyeluruh dapat dilihat pada gambar 3 tentang diagram alir penelitian. Pertama dilakukan persiapan bahan dan instalasi proses pengecoran. Bahan yang dicor berupa silinder. Sudut putar dari sumbu putar cetakan sentrifugal dibuat bervariasi dengan kemiringan dalam rentang  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$  dengan interval  $15^\circ$ . Kemudian dilakukan pengambilan benda uji dengan membongkar cetakan. Terhadap hasil coran dilakukan uji sifat mekanik hasil coran berupa uji distribusi kekerasan, uji distribusi kekuatan tarik dan uji distribusi kekuatan impak. Spesimen dibuat pada hasil coran yang berupa silinder dengan skema seperti ditunjukkan pada gambar 2. Dari data hasil pengujian maka dilakukan pengolahan data. Dengan analisa statistik maka diperoleh kesimpulan dari hasil penelitian ini. Data yang menunjukkan distribusi sifat mekanis yang paling merata dianggap yang merupakan hasil coran yang terbaik. Juga dapat dianalisa trend data yang dihasilkan, berdasar pengolahan data tersebut.



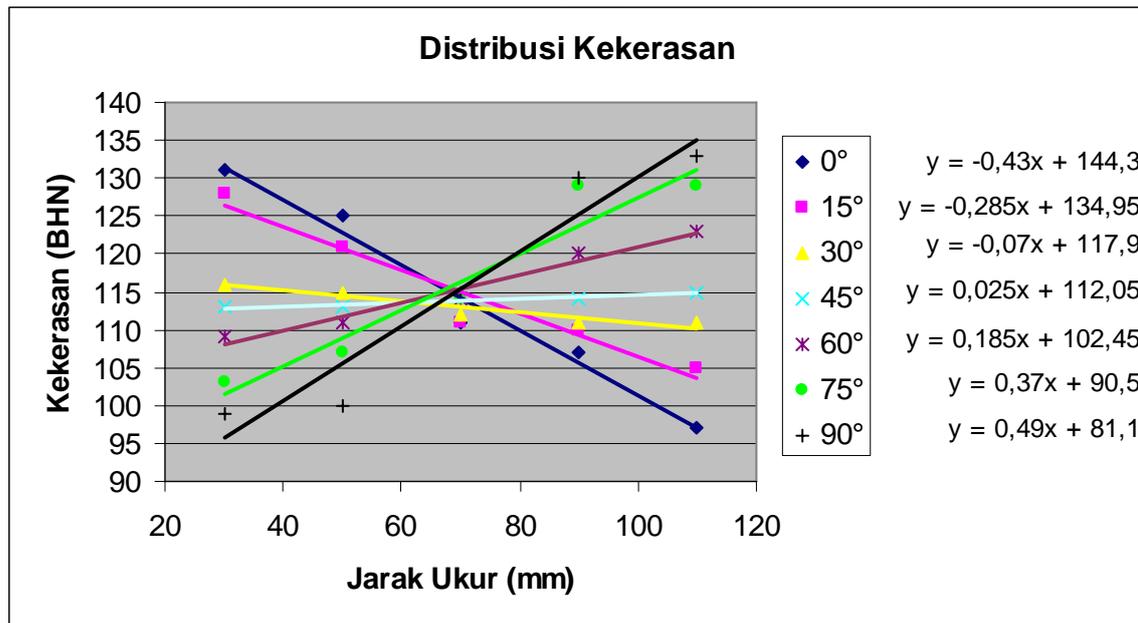
**Gambar 2.** Skema Spesimen Yang Dibuat Dari Silinder Hasil Proses Pengecoran Sentrifugal  
(a)Spesimen Uji Distribusi Kekuatan Tarik, (b)Spesimen Uji Distribusi Kekerasan, (c)Spesimen Uji Distribusi Kekuatan Impak.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

### Hasil dan Pembahasan

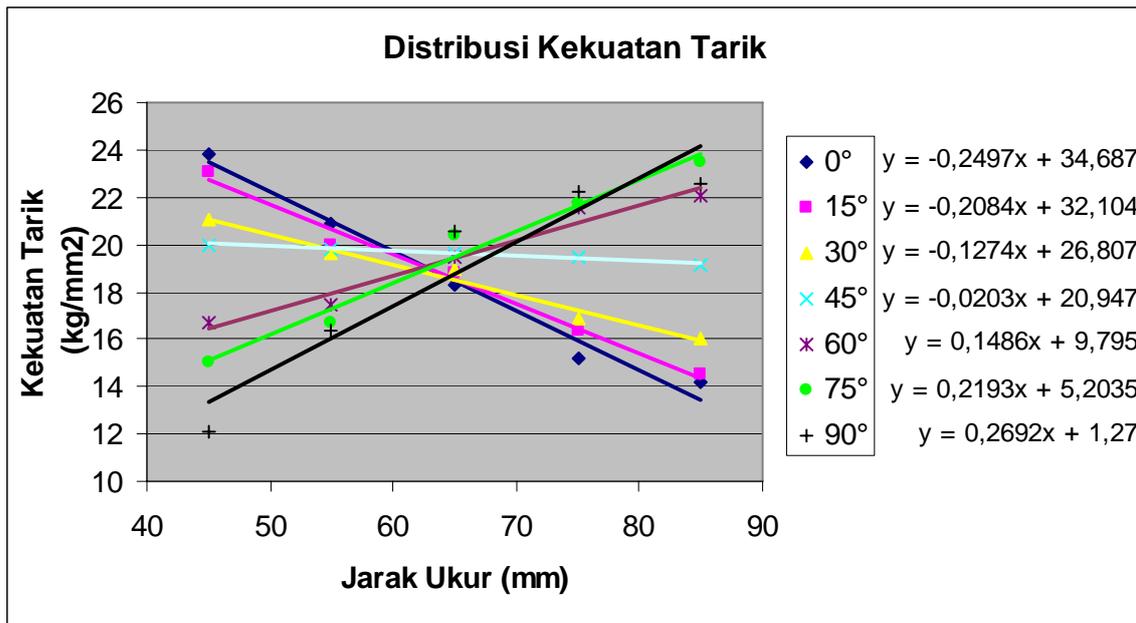
Hasil yang didapat dari pengujian kekerasan, kekuatan tarik dan kekuatan impak dicantumkan secara grafis secara berturut-turut pada gambar 4, gambar 5 dan gambar 6.



**Gambar 4.** Distribusi kekerasan sebagai fungsi sudut utar sumbu cetak.

Pada grafik gambar 4 terlihat bahwa pada sudut kemiringan cetakan 0°, 15° dan 30° memiliki distribusi kekerasan tidak merata, perbedaan nilai kekerasan antar titik pengukuran tinggi. Nilai kekerasannya semakin menurun searah dengan semakin besarnya jarak pengukuran, yaitu untuk sudut kemiringan 0° nilai kekerasannya menurun dari 131 BHN sampai 97 BHN, pada sudut kemiringan 15° nilai kekerasannya menurun dari 126 BHN sampai 104 BHN, dan sudut kemiringan 30° nilai kekerasannya menurun dari 116 BHN sampai 110 BHN. Sedangkan pada sudut kemiringan 45° distribusi kekerasannya paling merata, perbedaan nilai kekerasan antar titik pengukuran tidak terlalu jauh yaitu berkisar 113 BHN sampai 115 BHN. Pada sudut kemiringan 60°, 75° dan 90° distribusi kekerasan juga tidak merata, perbedaan nilai kekerasan antar titik pengukuran tinggi. Nilai kekerasannya semakin tinggi searah dengan bertambah besarnya jarak pengukuran pada hasil coran yaitu untuk sudut kemiringan 60° nilai kekerasannya naik dari 108 BHN sampai dari 123 BHN, untuk sudut 75° nilai kekerasannya naik dari 102 BHN sampai 131 BHN, dan sudut 90° nilai kekerasannya juga naik dari 96 BHN sampai 135 BHN.

Hal ini disebabkan karena pada sudut 0° gaya yang membantu mendorong cairan logam menuju ujung cetakan sebesar  $F_g \times \cos 90^\circ = \text{nol}$  sehingga diawal cetakan akan terjadi pendinginan cepat yang menyebabkan butiran diawal cetakan strukturnya lebih rapat dan lebih halus. Oleh karenanya kemampatan coran terbesar akan terjadi diawal cetakan sehingga kekerasan terbesar juga akan terjadi diawal cetakan (dekat cawan tuang). Dengan adanya penambahan kemiringan sumbu putar cetakan maka gaya  $F_g \times \cos \theta$  yang membantu logam cair untuk mengalir lebih besar sehingga kerapatan dan kehalusan butir logam akan semakin merata, hal ini menyebabkan kekerasannya juga semakin merata. Pada sudut 60°, 75°, dan 90° gaya dorong  $F_g \times \cos \theta$  yang membantu aliran logam cair menuju ke ujung cetakan (jauh dari cawan tuang) semakin besar menyebabkan logam cair akan mengumpul di ujung cetakan dan butir logam di ujung cetakan akan lebih rapat dan halus sehingga kekerasan di ujung cetakan akan lebih besar dibandingkan daerah awal cetakan (dekat cawan tuang), perbedaan kekerasan yang terjadi antara awal cetakan dan ujung cetakan juga akan semakin besar. Oleh karena itu distribusi kekerasan yang terjadi akan semakin menurun.

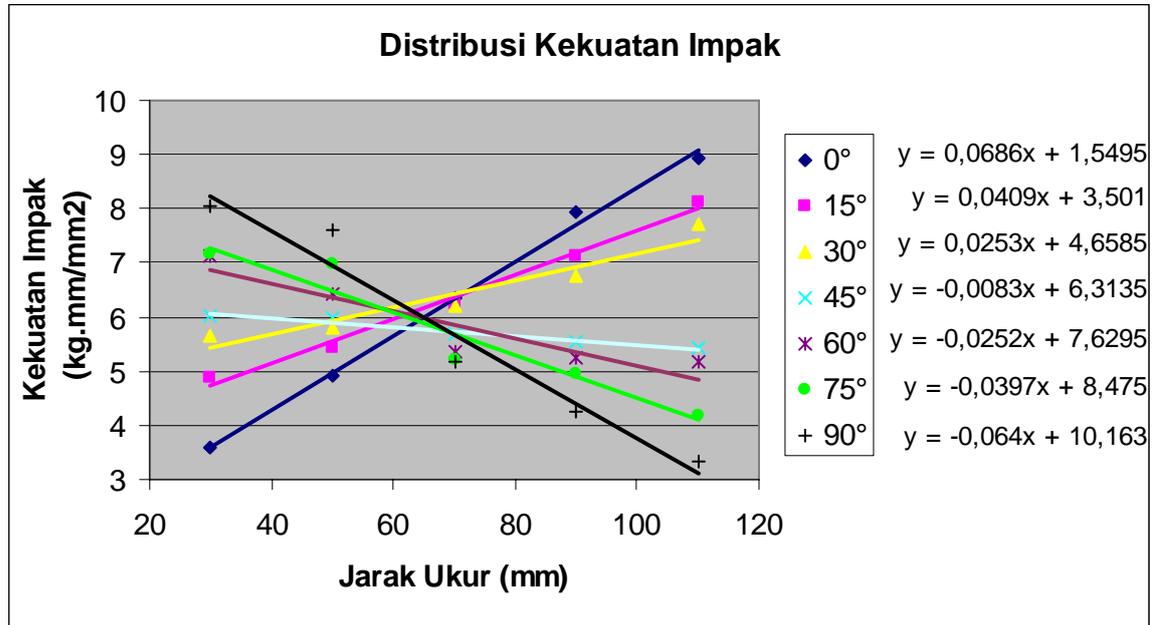


Gambar 5. Distribusi kekuatan tarik sebagai fungsi sudut utar sumbu cetak.

Gambar 5 menunjukkan hubungan jarak ukur dan kekuatan tarik terlihat bahwa pada sudut  $0^{\circ}$  kekuatan tarik akan semakin menurun dengan bertambahnya jarak ukur. Pada jarak pengukuran 45 mm kekuatan tariknya sebesar  $23 \text{ N/m}^2$  dan akan turun menjadi  $13 \text{ N/m}^2$  pada jarak ukur 85 mm. Demikian juga dengan sudut  $15^{\circ}$ , kekuatan tarik juga akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya jarak pengamatan yaitu dari  $23 \text{ N/m}^2$  menjadi  $14 \text{ N/m}^2$ . Sedangkan pada sudut  $30^{\circ}$  kekuatan tarik tetap akan menurun seiring bertambahnya jarak pengamatan yaitu dari  $21 \text{ N/m}^2$  menjadi  $16 \text{ N/m}^2$ . Pada sudut kemiringan  $45^{\circ}$ , walaupun kekuatan tarik akan tetap menurun seiring bertambahnya jarak pengamatan tetapi tidak sebesar sudut kemiringan  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$  yaitu antara jarak ukur 45 mm sebesar  $20 \text{ N/m}^2$  dengan jarak ukur 85 mm yaitu  $19 \text{ N/m}^2$ . Dan sebaliknya pada sudut  $60^{\circ}$ , kekuatan tarik yang terjadi akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak pengukurannya yaitu dari  $16 \text{ N/m}^2$  pada jarak 45 mm menjadi  $22 \text{ N/m}^2$  pada jarak pengamatan 85 mm. Demikian pula pada sudut  $75^{\circ}$ , kekuatan tarik akan semakin meningkat yaitu pada jarak pengukuran 45 mm sebesar  $15 \text{ N/m}^2$  dan pada jarak pengukuran 85 mm sebesar  $24 \text{ N/m}^2$ . Pada sudut  $90^{\circ}$  peningkatan kekuatan tarik akan terlihat semakin nyata yaitu dari kekuatan tarik terendah sebesar  $13 \text{ N/m}^2$  menjadi  $24 \text{ N/m}^2$ .

Dengan bertambahnya sudut kemiringan sumbu putar cetakan terlihat bahwa kekuatan tarik hasil coran akan semakin merata antara awal cetakan (dekat cawan tuang) dengan bagian akhir cetakan. Pemerataan kekuatan tarik tersebut akan mencapai maksimum pada sudut  $45^{\circ}$  dan akan menurun kembali pemerataannya seiring bertambahnya sudut kemiringan sumbu putar cetakan. Hal ini terjadi karena, pada sudut  $0^{\circ}$  resultan gaya  $F_g$  yang membantu aliran dari logam cair adalah  $F_g \cdot \cos 90^{\circ}$  atau sebesar 0 sehingga diawal cetakan logam cair membeku lebih cepat dibandingkan diakhir cetakan. Oleh karena itu butiran yang terbentuk diawal cetakan strukturnya lebih halus dan rapat sehingga kekuatan tarik diawal cetakan akan lebih besar jika dibandingkan dengan akhir cetakan. Dengan adanya kemiringan sumbu putar cetakan resultan gaya  $F_g$  yang membantu aliran logam cair akan membesar sehingga kehalusan dan kerapatan butir logam akan semakin merata sehingga kekuatan tariknya akan semakin merata. Pada sudut  $60^{\circ}$  dengan resultan gaya  $F_g$  yang mendorong aliran logam cair sebesar  $F_g \cdot \cos 30^{\circ}$  maka butir logam di ujung cetakan akan lebih rapat dan halus sehingga kekuatan tarik diujung cetakan akan lebih besar dibandingkan daerah yang lebih dekat dengan awal cetakan (dekat cawan tuang). Oleh karena itu distribusi kekuatan tarik yang terjadi akan semakin menurun. Pada sudut  $75^{\circ}$  kerapatan butir akan semakin besar di ujung cetakan karena resultan gaya  $F_g$  membantu aliran logam cair akan semakin besar pula yaitu sebesar  $F_g \cdot \cos 15^{\circ}$ . Oleh karenanya kekuatan tariknya juga akan semakin meningkat dari awal cetakan dan terbesar di akhir cetakan. Bahkan perbedaan kekuatan tarik yang terjadi (antara awal dan akhir cetakan) semakin besar jika dibandingkan dengan sudut kemiringan  $60^{\circ}$ .

Pada sudut  $90^{\circ}$ , resultan gaya  $F_g$  yang mendorong aliran logam cair pada cetakan akan mencapai maksimal yaitu sebesar  $F_g \cdot \cos 0^{\circ}$  sehingga kerapatan butir diakhir cetakan akan lebih besar bahkan perbedaannya sangat signifikan dengan awal cetakan. Oleh karena itu perbedaan kekuatan tarik yang terjadi antara awal cetakan dan akhir cetakan juga akan semakin besar sehingga distribusi kekuatan tariknya akan semakin menurun.



**Gambar 6.** Distribusi kekuatan impact sebagai fungsi sudut utar sumbu cetak.

Pada grafik gambar 6 terlihat bahwa nilai kekuatan *impact* untuk kemiringan sudut  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$  cenderung naik seiring dengan semakin besarnya jarak pengukuran, tiap titik pengukuran mempunyai perbedaan nilai kekuatan *impact* yang besar. Untuk kemiringan sudut  $0^{\circ}$  nilai kekuatan *impact* naik dari  $3,6 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $9,1 \text{ kg.mm/mm}^2$ , kemiringan sudut  $15^{\circ}$  naik dari  $4,7 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $8 \text{ kg.mm/mm}^2$ , dan untuk kemiringan sudut  $30^{\circ}$  naik dari  $5,4 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $7,4 \text{ kg.mm/mm}^2$ . Pada kemiringan sudut  $45^{\circ}$  terlihat distribusi kekuatan *impact* yang paling merata, nilai kekuatan *impact* antar titik pengukuran perbedaannya tidak terlalu besar, yaitu hanya berkisar  $6,1 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $5,4 \text{ kg.mm/mm}^2$ . Sedangkan pada sudut kemiringan  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$  nilai kekuatan *impact*nya menurun seiring dengan semakin besarnya jarak pengukuran, distribusi kekuatan *impact*nya tidak merata. Untuk sudut kemiringan  $60^{\circ}$  nilai kekuatan *impact* turun dari  $6,9 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $4,9 \text{ kg.mm/mm}^2$ , pada sudut  $75^{\circ}$  turun dari  $7,3 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $4,1 \text{ kg.mm/mm}^2$ , dan pada sudut  $90^{\circ}$  turun dari  $8,2 \text{ kg.mm/mm}^2$  sampai  $3,1 \text{ kg.mm/mm}^2$ .

Hal ini disebabkan karena pada sudut  $0^{\circ}$  gaya yang membantu mendorong cairan logam menuju ujung cetakan sebesar  $F_g \times \cos 90^{\circ}$  atau nol sehingga diawal cetakan akan terjadi pendinginan cepat yang menyebabkan butiran diawal cetakan strukturnya lebih rapat dan lebih halus. Oleh karenanya kemampuan coran terbesar akan terjadi diawal cetakan sehingga kekuatan *impact* terkecil juga akan terjadi di awal cetakan (dekat cawan tuang). Dengan adanya penambahan kemiringan sumbu putar cetakan maka gaya  $F_g \times \cos \theta$  yang membantu logam cair untuk mengalir lebih besar sehingga kerapatan dan kehalusan butir logam akan semakin merata, hal ini menyebabkan kekuatan *impact* juga semakin merata. Pada sudut  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$  gaya dorong  $F_g \times \cos \theta$  yang membantu aliran logam cair menuju ke ujung cetakan (jauh dari cawan tuang) semakin besar menyebabkan logam cair akan mengumpul di ujung cetakan dan butir logam di ujung cetakan akan lebih rapat dan halus sehingga kekuatan *impact* di ujung cetakan akan lebih kecil dibandingkan daerah awal cetakan (dekat cawan tuang), perbedaan kekuatan *impact* yang terjadi antara awal cetakan dan akhir cetakan juga akan semakin besar. Oleh karena itu distribusi kekuatan *impact* yang terjadi akan semakin menurun.

## Kesimpulan

Berdasar evaluasi pada pembahasan maka dapat disimpulkan sudut kemiringan cetakan 45° memberikan hasil yang optimal. Hal ini dapat ditinjau berdasar slope kurva yang paling minimal yang artinya menunjukkan distribusi sifat mekanik yang merata. Tinjauan yang lain dapat didasarkan dari nilai minimal dari masing-masing sifat mekanik, sudut kemiringan 45° memberikan nilai maksimal.

**Tabel 2.** Resume Hasil Penelitian

	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Kekerasan (BHN)</b>							
Slope	0,43	0,285	0,07	0,025	0,185	0,37	0,49
Nilai minimal (hitungan)	97	103,6	110,2	112,8	108	101,6	95,8
Nilai minimal (ukur)	97	105	111	113	109	103	99
<b>Kekuatan Tarik (kg/mm<sup>2</sup>)</b>							
Slope	0,2497	0,2084	0,1274	0,0203	0,1486	0,2193	0,2692
Nilai minimal (hitungan)	13,4625	14,39	15,978	19,2215	16,482	15,072	13,384
Nilai minimal (ukur)	14,15	14,49	16,04	19,15	22,08	23,46	22,6
<b>Kekuatan Impak (kg.mm/mm<sup>2</sup>)</b>							
Slope	0,0686	0,0409	0,0253	0,0083	0,0252	0,0397	0,064
Nilai minimal (hitungan)	3,6075	4,728	5,4175	5,4005	4,8575	4,108	3,123
Nilai minimal (ukur)	3,59	4,88	5,66	5,43	5,19	4,18	3,33

## Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada saudara Danang Yudanegara dan Danang Madyan Shah yang telah membantu melaksanakan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Chang,S.R.; Kim,J.M. and Hong,C.P. (2001); "Numerical Simulation of Microstructure Evolution of Al Alloys in Centrifugal Casting", ISIJ International, Vol. 41, No.7, pp.738-747.
- Faccenda, Valerio (1998); "Investment Casting: Centrifugal or Static Vacuum Assist" , <http://www.gold.org/discover/Sci>.
- Herling, Darel R.; Carpenter, Joseph A. and Sklad, Philip S. (2004); "Low-Cost Cast Aluminum Metal Matrix Composites" , Automotive Lightweighting Material, FY 2004 Progress Report.
- Jain, P.L (1987); "Principle of Foundry Technology", McGraw-Hill, Publishing Company, New Delhi.
- Torii,S; Tanaka,S and Watanabe,Y (2003); "Fiber Transport Phenomenon in Functionally Graded Materials Fabricated by Centrifugal Solid-Particle Method", Proceedings of PSFVIP-4 Chamonix, France. F4074; pp 1- 5.
- Yang,Yuansheng; Liu,Qingmin; Jiao,Yuning; Ge,Yunlong; Hu,Zhuangqi; Gao,Yunyan; Jia,Guanglin and Zhang,Junshan (2000); "Application of Steady Magnetic Field for Refining Solidification Structure and Enhancing Mechanical Properties of 25Cr-20Ni-Fe-C Alloy in Centrifugal Casting", ISIJ International Vol. 35, No.4 pp.389-392.