

## ANALISIS VARIASI SISTEM SALURAN TERHADAP CACAT CORAN DAN KEKUATAN BENDING RUNNER SUDU 20 TURBIN *CROSS-FLOW* DENGAN METODE *SAND CASTING*

Bramansyah Badar Islami<sup>1</sup>, Kriswanto<sup>2</sup>, Rahmat Doni Widodo<sup>3</sup>, Rusiyanto<sup>4</sup>, Imam Sukoco<sup>5</sup>,  
Muhammad Harits<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Mechanical Engineering Department, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

[bramansyahbadarislami@gmail.com](mailto:bramansyahbadarislami@gmail.com)<sup>1</sup>, [kriswanto.tm@gmail.com](mailto:kriswanto.tm@gmail.com)<sup>2</sup>, [rahmat.doni@mail.unnes.ac.id](mailto:rahmat.doni@mail.unnes.ac.id)<sup>3</sup>,  
[me\\_rusiyanto@mail.unnes.ac.id](mailto:me_rusiyanto@mail.unnes.ac.id)<sup>4</sup>, [putra\\_aprillia@mail.unnes.ac.id](mailto:putra_aprillia@mail.unnes.ac.id)<sup>5</sup>, [mharits32@students.unnes.ac.id](mailto:mharits32@students.unnes.ac.id)<sup>6</sup>

### Abstrak

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi sistem saluran terhadap cacat coran dan kekuatan *bending* pada hasil pengecoran produk *runner* turbin *cross-flow*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variasi sistem saluran yang digunakan adalah 2 saluran langsung 1 *riser*, 2 saluran langsung 2 *riser* dan 2 saluran terpisah 2 *riser*, kemudian data tersebut dianalisis dengan menggunakan aplikasi *infinity analyze* dan kekuatan *bending*. Data hasil penelitian dianalisis secara makroskopik dan menggunakan grafik yang kemudian ditarik kesimpulan. Hasil penelitian ini didapatkan variasi 2 saluran langsung 2 *riser* dan variasi 2 saluran terpisah 2 *riser* terdapat cacat salah alir atau misrun, cacat sirip, cacat retakan, cacat penyusutan, sedangkan variasi 2 saluran langsung 1 *riser* terdapat cacat salah alir atau misrun, cacat sirip, cacat retakan, cacat penyusutan, dan cacat porositas. Nilai tegangan *bending* paling tinggi diperoleh dari variasi 2 saluran langsung 1 *riser* yaitu sebesar 160,741 MPa, nilai tegangan *bending* paling rendah yaitu variasi 2 saluran langsung 2 *riser* yaitu sebesar 109,134 MPa.

**Kata kunci:** Cacat Coran, Kekuatan *Bending*, *Runner* Turbin *Cross-flow*, Sistem Saluran

### Abstract

The purpose of this research is to find out the effect of the variation of gate system variations on casting defects and bending strength on the casting results of *cross-flow* turbine *runner* products. This study uses an experimental method with variations of the gate system using 2 direct gates 1 *riser*, 2 direct gates 2 *risers*, and 2 separate gates 2 *risers*, then the data is analyzed using the *infinity analyze* application and bending strength. The research data were analyzed macroscopically and using graphs which were then drawn conclusions. The results of this study obtained variations of 2 direct gates 2 *risers* and variations of 2 separate gates 2 *risers* there are faulty flow / misrun, fin defects, cracks defects, shrinkage defects, while variations of 2 direct gates 1 *riser* there are faulty flow / misrun, fin defects, cracking defects, shrinkage defects, and porosity defects. The highest value of bending elasticity modulus is obtained from the variation of 2 direct gates 1 *riser* which is 160,741 MPa, the lowest elastic modulus value is the variation of 2 direct gates of 2 *risers* which is 109,134 MPa

**Keywords:** *Cross-flow* Turbine *Runner*, Gate System, Casting Defect, Bending Strength.

### PENDAHULUAN

Turbin *cross-flow* merupakan bagian terpenting dalam sebuah instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Turbin *cross-flow* memiliki beberapa bagian, salah satunya yaitu *runner*. Kinerja *runner* pada turbin sangat berpengaruh terhadap kinerja suatu turbin, karena terdapat bagian sudu yang sangat berpengaruh dalam daya yang dihasilkan dan efisiensi sebuah turbin.

Proses pembuatan *runner* turbin *cross-flow* harus menggunakan proses mudah dan murah, tetapi juga tidak mengesampingkan daya dan efisiensi sebuah turbin. Salah satu manufaktur yang dapat digunakan menjadi alternatif proses pembuatan produk *runner* turbin *cross-flow* yaitu dengan pengecoran metode *sand casting*. Metode *sand casting* memiliki beberapa keunggulan yaitu mudah untuk dilakukan dan murah dalam biaya, selain itu kemudahan dalam ketersediaan bahan dan pasir untuk cetakan yang dapat digunakan secara berulang – ulang (Mamungkas *et al.*, 2018).

Sistem saluran merupakan faktor penting dalam pengecoran. Perancangan sistem saluran

yang tepat dapat melancarkan logam cair masuk ke dalam rongga cetakan, mengurangi kotoran dan gas yang terperangkap (Rahangmetan, *et al.*, 2018). Aspek yang juga perlu diperhatikan dalam proses pengecoran untuk memproduksi *runner* yaitu kekuatan *bending*. Bagian sudu yang selalu mendapat tekanan dari air yang berasal dari nozzle turbin dapat menyebabkan kerusakan di bagian sudu, sehingga kekuatan *bending* dari hasil pengecoran *runner* perlu diperhatikan.

Penelitian terkait sistem saluran dilakukan oleh Mamungkas *et al.*, (2018) dengan variasi saluran langsung, saluran pisah, dan saluran pisah dengan penambah. Didapatkan dari penelitian ini variasi saluran terpisah dengan *riser* memiliki kekuatan tarik yang lebih baik, sedangkan variasi dengan sistem saluran langsung memiliki cacat coran yang lebih rendah.

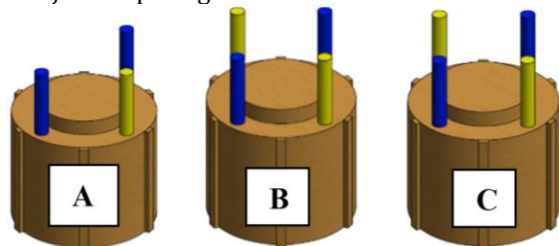
Akhyar *et al.*, (2020) melakukan penelitian terkait variasi jumlah sistem saluran. Hasil dari penelitian ini dengan menggunakan dua sistem saluran lebih baik daripada menggunakan satu sistem saluran, dengan menggunakan dua sistem saluran mempercepat laju cairan logam pada cetakan dan laju pembekuan semakin cepat,

sehingga kekuatan mekanis yang dihasilkan semakin baik dan meminimalisir terjadinya cacat pada hasil produk pengecoran.

Maidin *et al.*, (2017) melakukan simulasi pada 3 variasi sistem saluran yang berbeda dan setiap variasi dibuat tiga percobaan dengan dimensi yang berbeda dengan menggunakan aplikasi *ansys*. Dari penelitian ini didapatkan diameter saluran masuk dan diameter *riser* yang sama memiliki hasil laju aliran cairan yang baik, sehingga dalam penelitian ini menggunakan diameter saluran masuk dan diameter *riser* yang sama.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini desain penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen, dimana dilakukan perlakuan terhadap variabel bebas yang kemudian dilakukan observasi pada hasilnya. Perlakuan yang dilakukan adalah memberi variasi pada sistem saluran yaitu, variasi A (2 saluran langsung 1 *riser*), variasi B (2 saluran langsung 2 *riser*), dan variasi C (2 saluran terpisah 2 *riser*) untuk mengetahui cacat coran secara makroskopik dengan menggunakan aplikasi *infinity analyze* dan kekuatan *bending*. Desain variasi sistem saluran ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Variasi sistem saluran

## Alat dan Bahan penelitian

Alat yang digunakan diantaranya laptop untuk desain *runner*, pola, dan cetakan, alat uji bending, *CNC cutting*, jangka sorong, gerinda, tungku, ladle, kamera Canon 1200D. Bahan yang digunakan velg mobil bekas, kayu pinus dengan tebal 10 mm dan 20 mm, triplek 5 mm, peralon PVC, dempul, lem kayu, pasir silika, dan *meal steel*.

## Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah pengamatan secara makroskopik terhadap cacat coran menggunakan aplikasi *infinity analyze* dan pengujian *bending* dengan metode *three-point bending* dengan menggunakan standar ASTM E855-90.

## Pengujian Makroskopik

Pemeriksaan secara makroskopik dilakukan dengan menggunakan kamera Canon

1200D dan aplikasi *infinity analyze*. Berikut merupakan langkah - langkah pengamatannya:

1. Letakan kamera dengan jarak 20 cm terhadap cacat coran.
2. Masukkan foto cacat coran pada aplikasi *infinity analyze*.
3. Kalibrasi ukuran pada foto cacat coran.
4. Ukur dimensi cacat coran yang paling besar.

## Pengujian bending

Pengujian *bending* menggunakan standar ASTM E855-90 untuk menghitung tegangan *bending*, regangan *bending*, dan modulus elastisitas. Tegangan *bending* dapat menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{1,5 \times P \times l}{b \times h^2} \dots\dots\dots(1)$$

Regangan *bending* menggunakan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{6 \times \delta \times h}{l^2} \dots\dots\dots(2)$$

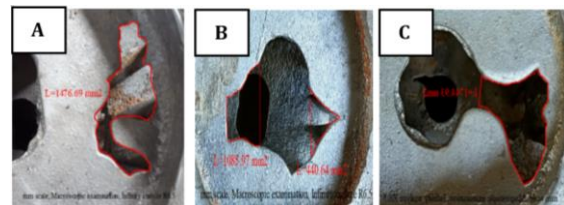
Modulus elastisitas menggunakan persamaan:

$$E = \frac{PL^3}{4bh^3\delta} \dots\dots\dots(3)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

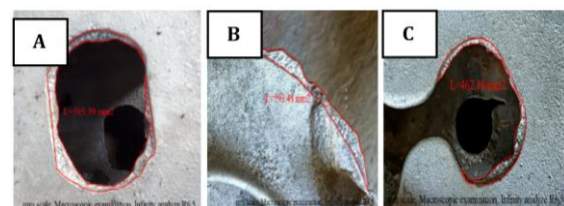
### Hasil pengamatan cacat coran

Pada variasi A, variasi B, dan variasi C memiliki cacat salah alir / misrun. Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa terdapat cacat salah alir pada setiap variasi, dimana Variasi C memiliki cacat terluas yaitu sebesar 1744,93 mm<sup>2</sup>, variasi B terluas kedua yaitu sebesar 1528,61 mm<sup>2</sup> dan variasi A memiliki luas cacat paling kecil yaitu sebesar 1476,02 mm<sup>2</sup>.



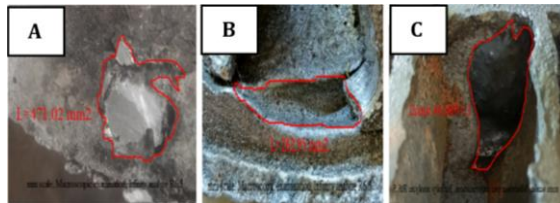
Gambar 1. Cacat salah alir pada setiap variasi

Pada setiap variasi terdapat cacat sirip / *flash*, variasi A memiliki cacat sirip terluas yaitu sebesar 595,39 mm<sup>2</sup>, variasi B terluas kedua yaitu sebesar 593,48 mm<sup>2</sup>, dan variasi C memiliki luas cacat paling kecil yaitu sebesar 462,18 mm<sup>2</sup>. Gambar 3 menunjukkan perbandingan luas cacat sirip pada seluruh variasi.



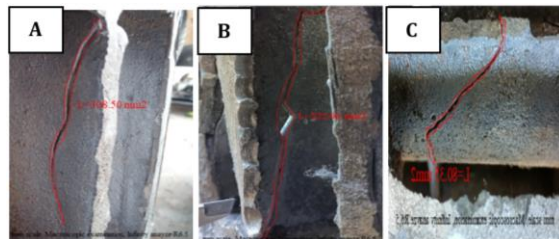
Gambar 2. Cacat sirip pada setiap variasi

Cacat penyusutan luar juga ditemukan pada setiap variasi, variasi C memiliki cacat terluas yaitu sebesar 566,64 mm<sup>2</sup>, cacat terluas kedua yaitu variasi A sebesar 471,02, dan variasi B memiliki luas cacat paling kecil yaitu sebesar 262,95 mm<sup>2</sup>. Gambar 4 menunjukkan perbandingan luas cacat penyusutan luar pada setiap variasi



Gambar 3. Cacat penyusutan setiap variasi

Gambar 5 menunjukkan perbandingan cacat retakan pada setiap variasi. Variasi A memiliki cacat retakan terluas yaitu sebesar 308,50 mm<sup>2</sup>, variasi B terluas kedua dengan luas cacat sebesar 222,06 mm<sup>2</sup>, dan variasi C memiliki luas paling kecil yaitu sebesar 80,35 mm<sup>2</sup>.



Gambar 4. Cacat retakan pada setiap variasi

Cacat porositas hanya ditemukan pada variasi A yaitu seluas 21,19 mm<sup>2</sup>, sedangkan pada variasi B dan variasi C tidak terdapat cacat porositas. Gambar 4.6 menunjukkan cacat porositas pada variasi A.

### Pengujian *bending*

Tegangan *bending* dihitung menggunakan Persamaan 1 dengan merujuk pada nilai maksimal *load*. Berikut merupakan perhitungan tegangan *bending* pada spesimen pertama variasi A:

Diketahui:

$$P = 21,618 \text{ kgf} = 212,01 \text{ N}$$

$$h = 3,3 \text{ mm}$$

$$b = 12,7 \text{ mm}$$

$$l = 160 \text{ mm}$$

Maka:

$$\sigma_1 = \frac{1,5 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{1,5 \cdot 212,01 \cdot 160}{12,7 \cdot 3,3^2}$$

$$\sigma_1 = 95,597 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = 95,597 \text{ MPa}$$

Hasil perhitungan dari tegangan *bending* dapat dilihat pada tabel 1. Regangan *bending* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 dengan

merujuk pada nilai defleksi yang dapat dilihat pada Tabel 1. Perhitungan regangan *bending* pada spesimen pertama variasi A adalah sebagai berikut: Diketahui:

$$l = 160 \text{ mm}$$

$$h = 3,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 15,017 \text{ mm}$$

Maka berdasarkan Persamaan 2 diperoleh nilai regangan:

$$\epsilon = \frac{6 \cdot \delta \cdot h}{l^2}$$

$$\epsilon = \frac{6 \cdot 15,017 \cdot 3,3}{160^2}$$

$$\epsilon = 0,0116$$

Seluruh hasil perhitungan regangan *bending* disajikan pada Tabel 1. Nilai modulus elastisitas *bending* dihitung dengan merujuk pada nilai maksimal *load* dan defleksi menggunakan Persamaan 3. Berikut merupakan perhitungan modulus elastisitas *bending* pada spesimen pertama variasi A:

$$E = \frac{PL^3}{4bh^3\delta}$$

$$E = \frac{212,01 \cdot 160^3}{4 \cdot 12,7 \cdot 3,3^3 \cdot 15,017}$$

$$E = 31675,799 \text{ MPa}$$

$$E = 31,675 \text{ GPa}$$

Data hasil modulus elastisitas pada *bending* dapat dilihat pada Tabel 1. Berikut merupakan tabel yang menyajikan data maksimal *load*, defleksi, tegangan, regangan, dan modulus elastisitas *bending*:

Tabel 1. Data maksimal *load*, defleksi, tegangan, regangan, dan modulus elastisitas *bending*

Variasi	Spe- sime- n ke-	Maksimal load (N)	Defleksi	Tegangan <i>bending</i> (MPa)	Regangan <i>Bending</i>	Modulus Elastisitas (GPa)
A	1	21,618	15,017	95,597	0,012	31,675
	2	29,590	19,975	134,934	0,015	35,745
	3	56,920	12,575	251,693	0,010	99,592
Rata - rata		36,043	15,875	160,741	0,012	55,671
B	1	21,976	16,900	96,590	0,013	28,097
	2	24,896	7,607	110,080	0,006	72,004
	3	27,303	9,688	120,731	0,007	62,008
Rata - rata		24,725	11,398	109,134	0,009	54,036
C	1	20,219	16,175	89,406	0,012	27,543
	2	29,689	7,607	129,710	0,013	38,74
	3	26,267	9,637	114,398	0,008	57,447
Rata - rata		25,392	15,796	111,171	0,011	41,243

Tabel 1 menunjukkan bahwa variasi A memiliki rata - rata tegangan *bending* sebesar 160,741 MPa, variasi B sebesar 109,134 MPa, dan variasi C sebesar 111,171 MPa.

### Pembahasan

#### Cacat coran

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopik pada seluruh variasi menunjukkan bahwa sistem saluran berpengaruh terhadap cacat coran pada produk runner. Gambar 2 menunjukkan

cacat salah alir pada setiap variasi, dimana variasi C memiliki cacat salah alir paling luas yaitu sebesar 1744,93 mm<sup>2</sup>. Variasi C memiliki cacat salah alir paling luas dikarenakan daerah yang terdapat cacat salah alir memiliki jarak yang jauh dari saluran masuk, sehingga bahan cor yang dituangkan pada rongga cetak terlebih dahulu mengalami pembekuan sebelum rongga cetak terisi penuh (Surdia dan Chijiwa, 1976).

Pada setiap variasi juga terdapat cacat sirip, dapat dilihat pada Gambar 3 dimana variasi A memiliki cacat sirip yang paling luas yaitu sebesar 595,39 mm<sup>2</sup>. Variasi A memiliki cacat sirip paling luas dikarenakan kurangnya jumlah saluran *riser* pada daerah dekat dengan cacat sirip sehingga bahan coran yang berlebih pada daerah yang memiliki jarak yang jauh dengan saluran *riser* akan memasuki celah pada *parting line* (Gunara dan Kusnowo, 2019).

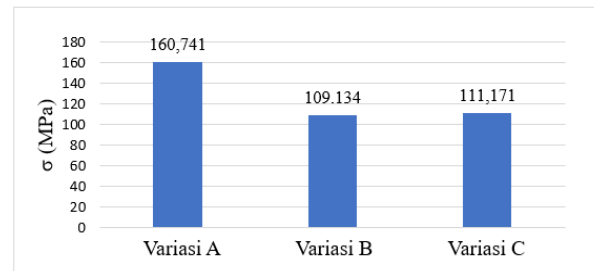
Gambar 4 menunjukkan bahwa variasi C memiliki cacat penyusutan luar yang paling luas yaitu sebesar 566,64 mm<sup>2</sup>. Cacat penyusutan paling luas pada variasi C disebabkan karena penempatan saluran *riser* yang kurang optimal sehingga daerah yang jauh dari riser mengalami penyusutan (Syah *et al.*, 2017).

Pada setiap variasi memiliki cacat retakan, Gambar 5 menunjukkan bahwa variasi A merupakan variasi yang memiliki cacat retakan paling luas yaitu sebesar 308,50 mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan kurang optimalnya kerja dari 1 saluran *riser* sehingga waktu pendinginan pada setiap daerah berbeda yang akhirnya menimbulkan retakan (Surdia dan Chijiwa, 1976).

Cacat porositas hanya terjadi pada variasi A, Gambar 6 menunjukkan bahwa cacat porositas pada variasi A memiliki luas sebesar 21,19 mm<sup>2</sup>. Terjadinya cacat porositas disebabkan karena jumlah saluran *riser* kurang sehingga daerah yang jauh dengan saluran *riser* terhambat dalam pengeluaran gas (Humbulkar dan Dalu, 2015).

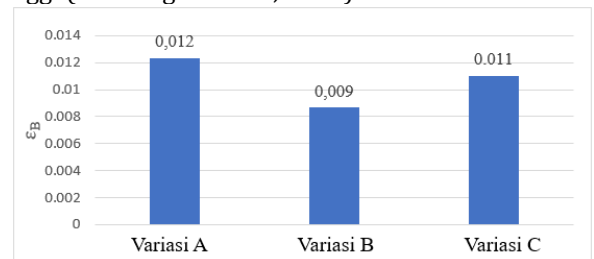
Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa sistem saluran dengan menggunakan 2 saluran langsung 2 riser dan 2 saluran terpisah 2 riser memiliki jenis cacat coran yang sedikit dibandingkan variasi 2 saluran langsung 1 riser. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Palagan (2015), dimana saluran terpisah memiliki jumlah cacat coran yang sedikit dibandingkan dengan saluran langsung dan saluran bawah.

## Uji bending



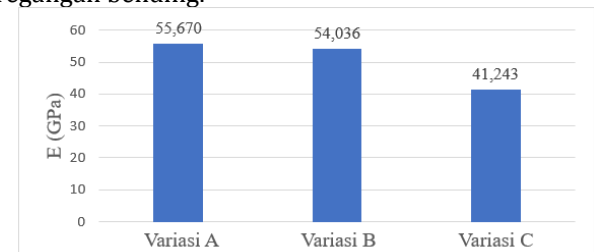
Gambar 7. Nilai tegangan bending

Gambar 7 menunjukkan bahwa variasi A memiliki rata – rata tegangan bending paling tinggi yaitu sebesar 160,741 MPa, sedangkan variasi B memiliki rata – rata tegangan bending paling rendah sebesar 109,134 MPa. Variasi A memiliki rata – rata tegangan bending paling tinggi disebabkan oleh jarak yang dekat antara saluran masuk dengan rongga cetakan daerah spesimen sehingga menghasilkan laju pembekuan yang singkat dan menyebabkan kekuatan bending yang tinggi (Mamungkas *et al.*, 2018).



Gambar 8. Nilai regangan bending

Gambar diatas menunjukkan variasi A memiliki rata – rata regangan paling tinggi sebesar 0,012, sedangkan variasi B memiliki rata – rata regangan paling rendah yaitu sebesar 0,009. Variasi A memiliki rata – rata regangan paling tinggi disebabkan karena hanya memiliki 1 saluran riser, sehingga menyebabkan udara lebih lambat keluar dari rongga cetak mengakibatkan nilai defleksi yang tinggi pada spesimen. Nilai defleksi yang tinggi dapat menyebabkan nilai yang tinggi pula pada regangan bending.



Gambar 9. Nilai modulus elastisitas bending

Variasi A memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi yaitu sebesar 55,670 GPa, sedangkan variasi C memiliki rata-rata modulus elastisitas paling rendah yaitu sebesar 41,243 GPa yang dapat dilihat pada Gambar 9. Variasi A memiliki nilai



modulus elastisitas yang tinggi dipengaruhi oleh beban yang dapat ditahan oleh variasi A lebih besar dibandingkan dengan variasi lain, sehingga menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi.

Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa variasi dengan 2 saluran langsung 1 riser memiliki kekuatan *bending* yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi lain. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Mamungkas *et al* (2018) bahwa variasi sistem saluran terpisah dengan penambah yang memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi.

## SIMPULAN DAN SARAN

### KESIMPULAN

Simpulan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Variasi sistem saluran memiliki pengaruh terhadap cacat cor yang dihasilkan, dimana semakin banyak jumlah saluran riser maka akan semakin sedikit jumlah jenis cacat coran yang dihasilkan.
2. Variasi sistem saluran memiliki pengaruh terhadap nilai kekuatan bending, dimana saluran masuk yang dekat dengan rongga cetak bagian spesimen akan menghasilkan kekuatan bending yang tinggi.

### SARAN

Saran dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengamatan lebih dalam dapat dilakukan pada cacat coran dengan metode mikroskopik, sehingga cacat coran pada bagian dalam hasil cor dapat diidentifikasi.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait faktor – faktor yang lain dalam pengecoran yang dapat meningkatkan kekuatan bending pada spesimen.

## PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Ontiyus Karya Mulia dan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang atas fasilitas yang diberikan untuk penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis melakukan penelitian.

## NOMENKLATUR

P	= beban yang diberikan pada uji <i>bending</i>
(N)	
b	= lebar spesimen (mm)
l	= rentang penyangga (mm)
h	= tebal spesimen (mm)

$\sigma$	= tegangan <i>bending</i> (MPa)
$\epsilon$	= regangan <i>bending</i> (mm <sup>2</sup> / mm <sup>2</sup> )
E	= modulus elastisitas <i>bending</i> (GPa)

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhyar, Husaini, M. Ali, N. Ali, dan A. Farhan. 2020. Effect of Different Gating Systems and Sand Mold Binder on The Cast-Quality of Bicycle Frame Produced through Sand Casting Method. *Defect and Diffusion Forum Vol. 402*: 100-107.
- Gunara, S dan R. Kusnowo. 2019. Perancangan dan Pembuatan Ring Silinder Menggunakan Metode *Centrifugal Casting* Sebagai Alternatif Peningkatan Kualitas Produk Cor. *Dinamika Teknik Mesin* 9(2): 140-146.
- Maidin, S., T. M. Yi, A. Hambali, S. Akmal, R. M. Hambali, dan Z. Abdullah. 2017. Investigation of Optimum Gating System Design of Fused Deposition Modelling Pattern For *Sand Casting*. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 11(3): 2801-2814.
- Mamungkas, M., A. Lesmawanto, R. Raharjo, dan T. Widodo. 2018. Modifikasi Saluran Pengecoran Al 6160 Terhadap Kekuatan Tarik Dengan Metode *Sand Casting*. *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa*. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.140-145.
- Rahangmetan, K.A., C.W. Wullur, dan F. Sariman. 2018. Pengaruh Bentuk Saluran Atas dengan Riser Untuk Mengurangi Cacat Coran Pada Pengecoran Propeller Kapal dengan Paduan Al7075. *Jurnal MJEME* 1(1): 30-34.
- Surdia, T, dan K. Chijiwa. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. PRADNYA PARAMITA.
- Syah, K., D. W. Karmiadi, dan D. Rahmalina. 2017. Desain *Gating System* dan Parameter Proses Pengecoran untuk Mengatasi Cacat Rongga Poros Engkol. *Jurnal Teknologi Rekayasa* 2(1): 55-62.
- Vinodh, G., H. R. J. Nodooshan, D. Li, X. Zeng, B. Hu, J. T. Carter, dan A. K. Sachdev. 2020. Effect of Al Content on Hot-Tearing Susceptibility of Mn-10Zn-xAl Alloys. *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International* 15A:1897-1910.
- Wibowo, L. A. 2019. Peningkatan *Yield Casting* Melalui Penerapan Metode *Plasma Treatment Casting (PTC)*. *Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan*. Politeknik Sukabumi. Sukabumi. 59-64.