

## PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI JENIS BAHAN PENGIKAT DAN NILAI PERMEABILITAS CETAKAN PASIR BASAH TERHADAP CACAT LUBANG HALUS HASIL COR ALUMINIUM PADUAN SERI 201,1

Djoko Andrijono<sup>1</sup>

### Abstraksi

Bahan pengikat dapat menimbulkan kebasahan cetakan pasir dan berpengaruh terhadap nilai permeabilitas. Perbedaan kebasahan cetakan pasir dan nilai permeabilitas dapat mempengaruhi aliran gelembung gas dan uap air yang ditimbulkan logam cair untuk keluar dari dalam cetakan. Gelembung gas dan uap air tersebut, dapat menimbulkan cacat lubang halus pada bagian luar dan bagian dalam hasil cor. Penelitian yang dilakukan menitikberatkan pada pemakaian variasi jenis bahan pengikat (*binder*) sebagai upaya untuk mengurangi terjadinya cacat lubang halus pada hasil cor. Komposisi cetakan pasir basah, terdiri atas: (a) pasir sungai 86,58%, (b) bentonit 6%, (c) bahan pengikat (gulas tetes, gula pasir, dan gula merah) dengan komposisi yang sama 3%, dan (d) air 4,42%. Tujuan penelitian yang dilakukan menganalisa dan membandingkan pengaruh pemakaian gula tetes, gula pasir, gula merah dan nilai permeabilitas cetakan pasir basah terhadap cacat lubang halus hasil cor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, cetakan pasir basah dengan pengikat gula merah mencapai nilai permeabilitas terendah sebesar 822,12 ml/cm<sup>3</sup>.menit dengan persentase cacat lubang halus rata-rata 6% dan nilai permeabilitas tertinggi pada cetakan pasir basah dengan pengikat gula pasir mencapai 1043,09 ml/cm<sup>3</sup>.menit dengan persentase cacat lubang halus rata-rata 7,5%.

**Kata Kunci :** Gula Tetes, Gula Pasir, Gula Merah, Cetakan Pasir Basah, Cacat Lubang Halus

### PENDAHULUAN

Umumnya benda cor sering mengalami cacat terutama cacat yang sering terjadi pada bagian luar dan bagian dalam hasil cor (*as-cast*). Cacat cor merupakan suatu kegagalan proses yang merugikan, sehingga muncul penelitian-penelitian sebagai upaya meningkatkan kualitas produk coran dengan cetakan pasir. Salah satu jenis cacat yang dapat terjadi pada proses pengecoran dengan cetakan pasir adalah terperangkapnya gelembung gas atau uap air di dalam rongga cetak (*cavity*) dan tidak dapat keluar, sehingga terdapat terjadi cacat lubang halus (*blow hole defect*) pada hasil cor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya cacat lubang halus, mencakup: (a) komposisi antara pasir cetak, pengikat, kadar

air, kadar lempung, (b) kecepatan penuangan, (c) proses penuangan, (d) desain cetakan dan pola, (e) viskositas logam cor, (f) jenis dan bentuk susunan pasir cetak, (g) *permeable*, (h) perlakuan ladell, (i) kadar kelembaban, (j) saluran penambahan, dan (k) laju pendinginan. Tujuan penelitian untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh pemakaian variasi bahan pengikat, seperti: gula tetes, gula pasir, dan gula merah pada cetakan pasir basah (*green sand mold*). Diharapkan hasil penelitian dapat memberikan informasi kepada para pengusaha di bidang industri manufaktur, khususnya industri pengecoran yang memakai cetakan pasir sungai dengan logam cor jenis aluminium paduan seri 201,1.

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

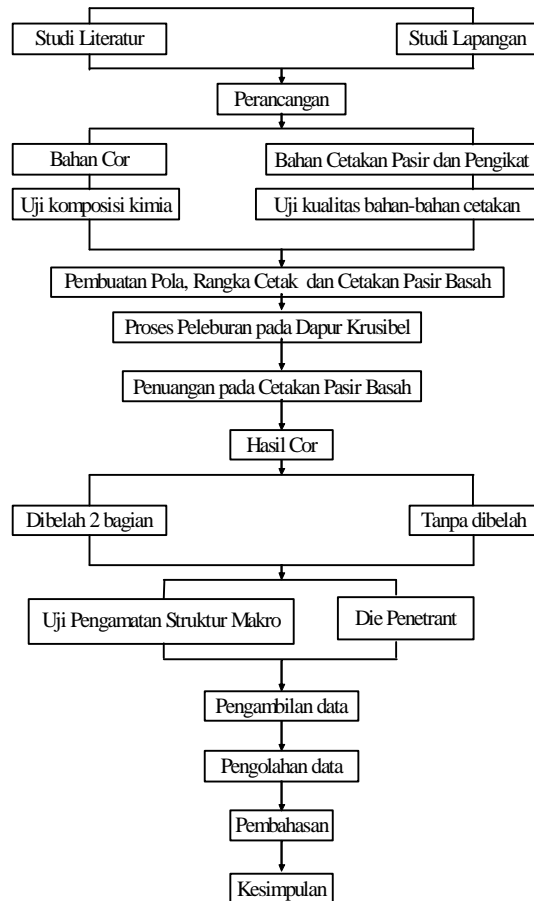
## KAJIAN PUSTAKA

Cetakan pasir dapat didesain dengan tangan (manual) atau dengan mesin pembuat cetakan. Kondisi saat ini pembuatan cetakan secara mekanik cenderung semakin karena teknologinya semakin berkembang dari kapasitas kecil sampai yang besar. Pembuatan cetakan dengan tangan dibutuhkan apabila jumlah produksinya kecil, sedangkan untuk bentuk coran dengan tingkat kesulitan yang tinggi dan besar dilakukan dengan mesin pembuat cetakan. Standar komposisi cetakan pasir basah secara teoritis, terdiri atas: (a) pasir 80% s.d 90%, (b) bentonit 10% s.d 15%, (c) air 4% s.d 5%, dan (d) grafit 2% s.d 3%. Keuntungan penggunaan cetakan pasir secara umum, mencakup: (a) mempunyai kemampuan produksi yang tinggi, (b) fleksibel karena hasil cor dapat menyesuaikan dengan rongga cetak, sedangkan kerugiannya, mencakup: (a) mudah cacat, (b) toleransi dimensi yang dicapai tidak terlalu tinggi akibat penyusutan, (c) kepresisian hasil cor sulit dicapai, dan (d) permukaan hasil cor yang kurang baik, khususnya dengan cetakan pasir. Pada proses pengecoran dengan cetakan pasir cenderung mudah cacat, khususnya cacat lubang halus dibanding dengan jenis cetakan yang lain. Faktor-faktor yang menyebabkan cacat lubang halus, meliputi: (a) kesalahan perencanaan, seperti: (1) pembuatan cetakan, (2) pembuatan pola, (3) saluran penambahan (*riser*), (4) sistem saluran (*gating system*), (5) jenis dan susunan pasir cetak, dan (6)

proses peleburan (*melting process*), (b) sifat logam cor, dan (c) proses pembongkaran.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Diagram Alir Penelitian



### Peralatan Penunjang Penelitian

1. Mesin-mesin: mikroskop logam, *pregrinder*, *polishing*, *mounting press*, *film processing apparatus*, *shot blasting*, *permeability tester*, spektrometri, mesin perkakas potong, dapur perapian terbuka, timbangan elektrik, mesin pengguncang rotap, dapur pengering, dan termokopel.
2. Peralatan penunjang lain: kertas gosok dengan *grade # 300*, peralatan kerja bangku, *sand rammer*.

**Variabel Pengujian :**

1. Bahan dan jumlah sampel uji : aluminium paduan seri 201,1 sebanyak 3 buah
2. Temperatur pemanasan awal : 165<sup>0</sup>C
3. Temperatur peleburan : 670<sup>0</sup>C.
4. Temperatur penuangan pada cetakan : 660<sup>0</sup>C
5. Pendinginan hasil cor : lambat
6. Jenis dan bentuk susunan pasir cetak : pasir sungai dan berbentuk bundar.
7. Bahan pengikat : gula tetes, gula pasir, dan gula merah.
8. Komposisi cetakan pasir basah : pasir sungai 86,58%, bentonit6%, bahan pengikat 3%, dan air 4,42%.
9. Bahan rangka cetak (*flask*) : kayu maoni (1 set)



Gambar 1. **Rangka Cetak**

10. Bahan pola (*pattern*) : kayu jati (1 buah)



Gambar 2. **Pola**

11. Dimensi sampel uji (hasil cor) : 3 buah berbentuk puli rata (dimensi yang sama)
  - a. diameter luar ( $d_k$ ) = 145 mm
  - b. diameter dalam ( $d_d$ ) = 125 mm

- c. lebar puli ( $b$ ) = 55 mm
- d. diameter hub ( $d_b$ ) = 50 mm
- e. diameter poros ( $d_s$ ) = 25 mm



Gambar 3. **Puli Rata**

**Batasan dan Metode Pengujian**

1. Pengujian komposisi kimia menggunakan mesin spektrometri, bertujuan untuk menganalisa unsur-unsur kimia dan besarnya komposisi kimia pada hasil cor.
2. Pengujian kadar air menggunakan *moisture analyser*, bertujuan untuk menganalisa kandungan air pada pasir sungai yang dinyatakan dalam persentase. Standar kadar air yang dapat mengikat pasir sungai antara 1,5% s/d 8%.
3. Pengujian kadar lempung menggunakan dapur pengering, bertujuan untuk menganalisa kandungan lempung pada pasir cetak yang dinyatakan dalam persentase. Standar kadar lempung antara 2% s/d 50% tergantung dari jenis cetakan, komposisi cetakan pasir, dan logam cor.
4. Pengujian distribusi besar butir pasir cetak menggunakan mesin pengguncang rotap, bertujuan untuk menganalisa kemampuan butiran pasir sungai untuk dapat mencegah gas keluar.
5. Pengujian permeabilitas menggunakan *permeability* meter, bertujuan untuk

menganalisa kemampuan pori-pori pasir sungai untuk dilewati gelembung gas panas dan uap air.

6. Pengujian tak merusak (*non destructive test*) menggunakan *liquid penetrant*, bertujuan untuk mengetahui cacat lubang halus pada bagian luar hasil cor memakai media cairan berwarna yang dapat menembus cacat lubang halus, selanjutnya cairan berwarna yang melekat pada bagian luar hasil cor dibersihkan sehingga nampak dengan jelas cacat lubang halus.
7. Pengamatan struktur makro menggunakan mikroskop logam, bertujuan untuk mengamati cacat lubang halus pada bagian dalam hasil cor.

#### DATA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan kadar air (tabel 2)

$$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{\text{BeratAwal} - \text{BeratAkhir}}{\text{BeratAwal}} \times 100\% \\ &= \frac{25\text{gr} - 24,147\text{gr}}{25\text{gr}} \times 100\% = 3,412\% \end{aligned}$$

Perhitungan kadar lempung (tabel 3)

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lempung} &= \frac{\text{BeratAwal} - \text{BeratAkhir}}{\text{BeratAwal}} \times 100\% \\ &= \frac{100\text{gr} - 95,45\text{gr}}{100\text{gr}} \times 100\% = 4,55\% \end{aligned}$$

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia pada Aluminium Paduan Seri 201,1

Unsur	Komposisi Kimia (%)
Si	0,398
Fe	0,089
Cu	0,16
Mn	0,027
Mg	0,516
Cr	0,026
Zn	0,132
Ti	0,01
Al	98,642

Tabel 2. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Kadar Air pada Pasir Sungai

Data ke	Lama Pemanasan (menit)	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Kadar Air
1	5	25	24,147	3,412
2	5	25	24,056	3,776
3	5	25	23,871	4,516
4	5	25	24,002	3,992
5	5	25	24,123	3,508
6	5	25	23,158	7,368
Jumlah =				26,572
Rata-rata =				4,42

Tabel 3. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Kadar Lempung pada Pasir Sungai

Percobaan ke	Lama Pencucian (menit)	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Kadar Lempung (%)
1	5	100	95,45	4,55
2	5	100	95,55	4,45
Jumlah =				9
Rata-Rata =				4,5

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Distribusi Besar Butir Pasir Sungai

No	Bukaan Mesh (mikron)	Berat Tiap Ayakan (gr)		Keterangan
		Percobaan Ke-1	Percobaan Ke-2	
1	315	77,15	74,31	Berat awal : 100 gr Lama getaran : 5 menit Frek. getaran : 5 Hz
2	280	17,44	16,91	
3	250	16,74	14,67	
4	200	13,76	15,71	
5	180	7,16	8,41	
6	160	5,83	5,7	
7	140	3,11	3,99	
8	125	2,49	2,93	

Tabel 5. Pelipat Sn untuk Perhitungan Nomor Kehalusan Butir Pasir Sungai

Bukaan Mesh (mikron)	3360	2380	1680	1190	840	590	420	297	210	149	105	74	53	tan
Sn	5	8	11	16	22	32	45	63	89	126	178	253	357	620

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Distribusi Besar Butir Pasir Sungai (Percobaan ke 1 dan 2)

No	Bukaan Mesh (mikron)	Percobaan ke 1				Percobaan ke 2			Rata-rata Distribusi Besar Butir Pasir Sungai
		Sn	Wn (gr)	Wn Sn (gr)	FN	Wn (gr)	Wn Sn (gr)	FN	
1	315	60,37	77,15	4657,23	74,22	74,31	4485,79	75,37	74,22352 + 75,3708 / 2 = 74,79 ≈ 75
2	280	68,08	17,44	1187,32		16,91	1151,24		
3	250	77,05	16,74	1289,75		14,67	1130,27		
4	200	95,07	13,76	1308,1		15,71	1493,48		
5	180	107,2	7,16	767,53		8,41	901,52		
6	160	119,33	5,83	695,68		5,7	680,17		
7	140	131,46	3,11	408,84		3,99	524,52		
8	125	140,56	2,49	349,99		2,49	349,99		
Jumlah =		143,68	10664	74,22	142,19	10717	75,37	74,79 ≈ 75	

Tabel 7. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Permeabilitas

Uraian			Data Hasil Pengujian Permeabilitas						Data Hasil Perhitungan Permeabilitas					
No	Notasi	Satuan	Larutan Pengikat						Larutan Pengikat					
			Gula Tetes		Gula Pasir		Gula Merah		Gula Tetes		Gula Pasir		Gula Merah	
			Perc. 1	Perc. 2	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 1	Perc. 2
1	Q	ml	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2	L	cm	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	A	cm <sup>2</sup>	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625	19,625
4	p	cm	1	0,98	0,98	0,85	1,1	1,2	1	0,98	0,85	0,97	1,1	1,2
5	t	menit	0,55	0,56	0,53	0,55	0,56	0,55	0,55	0,56	0,53	0,55	0,56	0,55
6	P	ml/cm <sup>3</sup> .mnt	-	-	-	-	-	-	962,46	928,48	1131,08	955,11	872,19	772,05
7	P rata <sup>2</sup>	ml/cm <sup>3</sup> .mnt	-	-	-	-	-	-	927,47	1043,09	822,12			

Pelipat Sn diperoleh dari interpolasi data tabel 5. Persamaan untuk menghitung harga nomor kehalusan butir pada tabel 6.

$$FN = \frac{\sum(Wn \times Sn)}{\sum Wn}$$

dengan

FN = nomor kehalusan butir.

Wn = berat pasir dari tiap ayakan (gr).

Sn = pelipat dari tabel 5.

Sn untuk bukaan mesh 315 mikron, diperoleh dengan interpolasi diperoleh  $y = 60,36585$ .

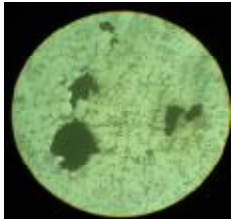
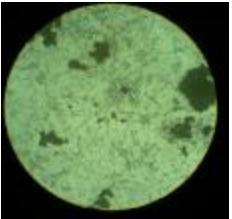
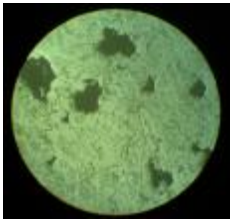
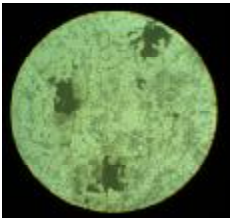
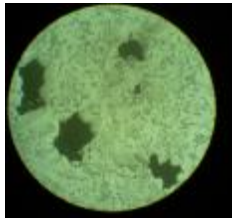
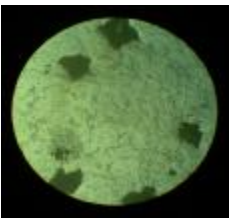
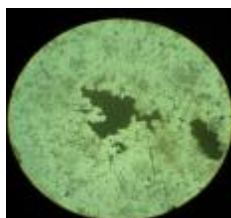
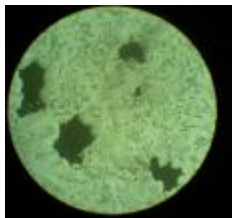
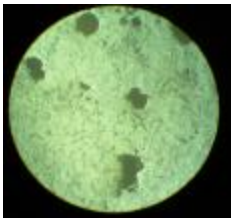
Perhitungan permeabilitas (tabel 7), dilakukan dengan cara :

$$P = \frac{Q \times L}{p \times A \times t}$$

$$= \frac{2000ml \times 5cm}{1cm \times 19,625cm^2 \times 0,55menit}$$

$$= 962,46 \text{ ml/cm}^3 \cdot \text{menit}$$

Tabel 8. Data Pengamatan Struktur Makro dan *Die Penetrant*

No	Cacat Cor Lubang Halus Hasil Cor Aluminium Seri 201,1 Pengikat Gula Tetes	Cacat Cor Lubang Halus Hasil Cor Aluminium Seri 201,1 Pengikat Gula Pasir	Cacat Cor Lubang Halus Hasil Cor Aluminium Seri 201,1 Pengikat Gula Merah
1	 Permukaan Dasar <i>Rim</i>	 Permukaan Dasar <i>Rim</i>	 Permukaan Dasar <i>Rim</i>
2	 Permukaan Luar <i>Rim</i>	 Permukaan Luar <i>Rim</i>	 Permukaan Luar <i>Rim</i>
3	 Dalam <i>Rim</i>	 Dalam <i>Rim</i>	 Dalam <i>Rim</i>

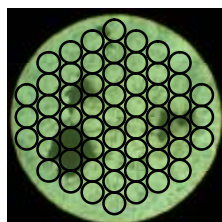
Tabel 9. Data Persentase Cacat Lubang Halus

No	Variasi Jenis Bahan Pengikat dengan Komposisi 3%	Daerah Pengamatan			Rata-rata Cacat Lubang Halus (%)
		Cacat Lubang Halus			
		Permukaan Dasar <i>Rim</i>	Permukaan Luar <i>Rim</i>	Dalam <i>Rim</i>	
1	Gula tetes	8,77%	7,74%	7,65%	8,05% $\approx$ 8%
2	Gula pasir	6,14%	10,52%	5,70%	7,45% $\approx$ 7,5%
3	Gula merah	7,02%	7,02%	4,82%	6,29% $\approx$ 6%

Contoh analisa pengamatan struktur makro dan *die penetrant* cacat lubang halus pada bagian permukaan dasar *rim* hasil cor cetakan pasir basah dengan pengikat gula tetes. Analisa tersebut, dilakukan pada 3 (tiga) daerah pengamatan, terdiri atas: (a) permukaan dasar *rim*, (b) permukaan luar *rim*, dan (c) dalam *rim*. Selanjutnya untuk analisa sampel uji berikutnya dilakukan dengan cara yang sama dan hasilnya dipaparkan pada tabel 9.

**Permukaan dasar *rim*, sebagai berikut.**

- a. Jumlah lingkaran hitam : 5 (daerah cacat)
- b. Jumlah lingkaran putih : 57 (daerah tidak cacat)



Persentase cacat lubang halus =  $\frac{5}{57} \times 100\% = 8,77\%$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan pendekatan lingkaran, maka persentase cacat lubang halus pada masing-masing hasil cor, dipaparkan pada tabel 9.

**Pembahasan**

Cacat lubang halus pada hasil cor dengan penambahan variasi jenis pengikat gula tetes, gula pasir dan gula merah dapat diketahui setelah dilakukan pengamatan struktur makro dan *die penetrant*. Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengamati cacat lubang halus pada bagian dalam hasil cor dan *die penetrant* untuk mengetahui cacat lubang halus pada bagian

luar hasil cor memakai media cairan berwarna yang dapat menembus cacat lubang halus. Pengamatan cacat lubang halus ini terletak pada *rim* puli rata (hasil cor) yang dibagi dalam 3 (tiga) daerah pengamatan, meliputi: (a) permukaan dasar *rim*, (b) permukaan luar *rim*, dan (c) dalam *rim*. Hasil cor cetakan pasir basah dengan komposisi, terdiri atas: (a) pasir sungai 86,58%, (b) bentonit 6%, (c) bahan pengikat gula tetes 3%, dan (d) air 4,42%. Dipilih pasir sungai 86,58% karena susunan pasirnya berbentuk bundar, sehingga hemat dalam pemakaian bahan pengikat dan memperbaiki sifat mampu tuang (*castability properties*) logam cair lebih baik. Bentonit 6% merupakan jenis tanah lempung yang memiliki ukuran 0,01 mikron dengan tujuan agar terjadi plastis akibat air 4,42% dan fungsi air sebagai aktivator daya ikat bentonit sehingga mampu mengikat pasir sungai.

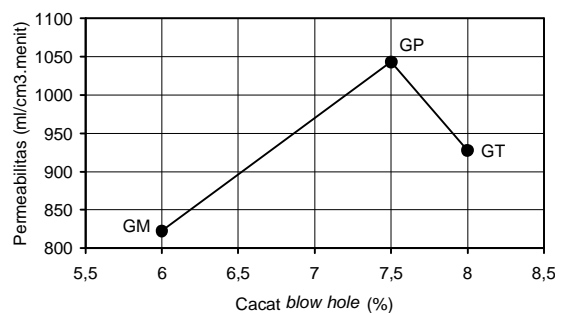
Hasil cor cetakan pasir basah dengan komposisi, terdiri atas: (a) pasir sungai 86,58%, (b) bentonit 6%, (c) bahan pengikat gula tetes 3%, dan (d) air 4,42% secara umum cacat lubang halus pada hasil cor rata-rata sebesar 8% (tabel 9). Hal ini disebabkan adanya gelembung gas panas yang ditimbulkan oleh logam cair dan uap air yang terperangkap di dalam rongga cetak (*cavity*) dan nilai permeabilitas yang rendah sebesar 927,47 ml/cm<sup>3</sup>.menit (tabel 7) bila dibanding dengan nilai permeabilitas cetakan pasir basah dengan pengikat gula pasir sebesar 1043,09 ml/cm<sup>3</sup>.menit (tabel 7).

Hasil cor cetakan pasir basah dengan komposisi, terdiri atas: (a) pasir sungai 86,58%, (b) bentonit 6%, (c) bahan pengikat gula pasir 3%, dan (d) air 4,42% secara umum cacat lubang halus pada hasil cor rata-rata mencapai 7,5% (tabel 9). Cetakan pasir basah dengan pengikat gula pasir memiliki nilai permeabilitas yang paling tinggi sebesar 1043,09 ml/cm<sup>3</sup>.menit (tabel 7), hal ini menunjukkan ruangan antara butir pasir sungai ditempati lempung yang kekurangan air bila dibanding dengan nilai permeabilitas cetakan pasir basah dengan pengikat gula tetes dan gula merah, di sisi lain persentase cacat lubang halus lebih tinggi dibanding hasil cor hasil cetakan pasir basah dengan pengikat gula merah sebesar 6% (tabel 9). Hal ini dipengaruhi oleh proses penuangan logam cair dari ladle ke dalam cetakan pasir basah dilakukan dengan secara manual (tangan), sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan kecepatan penuangan pada kedua jenis cetakan, di mana kecepatan penuangan pada cetakan pasir basah pengikat gula tetes lebih tinggi dibanding cetakan pasir basah dengan pengikat gula pasir, sehingga gelembung gas panas dan uap air yang terperangkap di dalam rongga cetak reatif lebih rendah.

Hasil cor cetakan pasir basah dengan komposisi, terdiri atas: (a) pasir sungai 86,58%, (b) bentonit 6%, (c) bahan pengikat gula merah 3%, dan (d) air 4,42% secara umum cacat lubang halus pada hasil cor rata-rata mencapai 6% (tabel 9). Nilai permeabilitas cetakan pasir basah dengan

pengikat gula merah merupakan yang paling rendah yang mencapai 822,12 ml/cm<sup>3</sup>.menit (tabel 7), hal ini menunjukkan ruangan antara butir pasir banyak ditempati lempung dengan kelebihan air. Faktor yang menyebabkan rendahnya persentase cacat lubang halus pada hasil cor cetakan pasir dengan pengikat gula merah proses penuangan logam cair dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas dan kecepatan penuangan logam cair lebih tinggi dibanding dengan cetakan pasir basah dengan pengikat gula pasir.

Pada grafik di atas, persentase cacat lubang halus dari 3 (tiga) hasil cor dengan beda variasi jenis bahan pengikat dengan komposisi yang sama sebesar 3%, tampak bahwa cetakan pasir basah dengan pengikat gula merah memiliki nilai permeabilitas paling rendah sebesar 822,12 ml/cm<sup>3</sup>.menit (tabel 7) dibanding dengan cetakan pasir basah yang lain.



**Keterangan Grafik:**

- GT : Benda cor hasil cetakan pasir basah pengikat gula tetes
- GP : Benda cor hasil cetakan pasir basah pengikat gula pasir
- GM : Benda cor hasil cetakan pasir basah pengikat gula merah

**Grafik 1. Hubungan antara Persentase Cacat Lubang Halus (%) dengan Nilai Permeabilitas (ml/cm<sup>3</sup>.menit)**



Menurut hasil pengamatan pengamatan struktur makro dan *die penetrant* menunjukkan bahwa, hasil cor cetakan pasir basah dengan pengikat gula merah memiliki persentase cacat lubang halus yang lebih rendah sebesar 6% (tabel 9). Hal ini tidak sesuai dengan teori permeabilitas yang mengatakan bahwa, nilai permeabilitas semakin rendah, maka potensi untuk terbentuknya cacat lubang halus semakin besar. Faktor yang menyebabkan perbedaan antara teori dan hasil penelitian dipengaruhi oleh kecepatan penuangan logam cair ke dalam cetakan relatif lebih tinggi dan sifat fluiditas yang dimiliki oleh logam cor yang dituang ke dalam cetakan pasir basah.

#### **SIMPULAN**

Cetakan pasir basah dengan pengikat gula merah mencapai nilai permeabilitas terendah sebesar 822,12 ml/cm<sup>3</sup>.menit dengan persentase cacat lubang halus rata-rata 6% dan nilai permeabilitas tertinggi pengikat gula pasir mencapai 1043,09 ml/cm<sup>3</sup>.menit dengan persentase cacat lubang halus rata-rata 7,5%.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Ammen C. W., 1979, *The Complete Handbook of Sand Casting*, Tab Books, USA.
- Avner, S.H., 1974, *Introduction to Physical Metallurgy*. Second Edition. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Banga, T.R., 1977, *Foundry Engineering*. New Delhi: Khana Publisher.
- Davies, G.J., 1973, *Solidification and Casting*. London: Applied Science Publishers Ltd.

Hatch, John E., 1984, *Aluminium Properties and Physical Metallurgy*, America Society for Metal, Metal Park, Ohio.

Heine, R. W., 1976, *Principles of Metal Casting*. London: Applied Science Publishers Ltd.

Jain, P.L., 1979, *Principles of Foundry Technology*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

