

# Analisa Pengaruh Penggunaan Sistem Saluran Dengan Runner Berpenampang Tetap Dan Perlakuan Panas (Normalizing- Quench Temper) Terhadap Sifat Mekanik Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Baja G17CrMo9-10 Hasil Pengecoran

S. Arianto dan W. Berata

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wajan\_berata@me.its.ac.id

**Abstrak**— Baja merupakan material yang banyak digunakan pada dunia industri seperti contohnya pada inlet casing turbin. Proses produksi inlet casing turbin menggunakan pengecoran dengan cetakan pasir. Sering dijumpai kegagalan hasil cor akibat kesalahan proses pengecoran seperti pemilihan sistem saluran yang tidak standar, Seperti halnya penggunaan runner yang berpenampang tetap pada saat melakukan proses pengecoran, yang memungkinkan terjadinya cacat akibat aliran logam tidak seragam saat memasuki rongga cetak. Untuk memperbaiki sifat mekanik benda hasil cor sering pula dilakukan rangkaian perlakuan panas seperti normalizing – quench temper. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan 5 buah plat dari hasil pengecoran. Perbedaan kelima plat tersebut adalah kecepatan alir logam cair ketika memasuki rongga cetak dari masing-masing plat. Sebelum dilakukan pengujian tarik dan kekerasan terlebih dahulu dilakukan perlakuan panas pada plat hasil cor tersebut. Perlakuan panas yang dilakukan berupa normalizing dan quench temper. Proses normalizing dilakukan hingga temperatur austenisasi 910 °C, quenching dilakukan hingga temperatur austenisasi 950°C, dan proses tempering dilakukan hingga suhu dinaikkan mencapai 720°C. Proses normalizing dan quenching ditahan pada temperatur austenisasi selama 5,5 jam sementara proses tempering ditahan pada suhu 720°C selama 5 jam. Langkah selanjutnya kelima material akan mengalami uji tarik, kekerasan dan struktur mikro serta uji liquid penetran. Hasil pengecoran dengan runner berpenampang tetap untuk dimensi benda cor yang berukuran kecil dengan panjang runner 100 cm tidak memberikan perbedaan kecepatan aliran yang signifikan pada plat ke 1, 5, 10, 15 dan 20. Rata-rata kecepatan kelima plat 0,7 m/s. Nilai kekuatan tarik kelima plat relatif sama dan memenuhi rentang standar ASTM 217 WC9 begitu juga dengan nilai kekerasan kelima plat. Sejalan dengan kecepatan aliran kelima plat yang dinyatakan sama. Perlakuan panas Normalizing-Quenching Temper meningkatkan kekuatan tarik rata-rata dari material awal dari 487 Mpa menjadi 602 Mpa. Serta menurunkan kekerasan material awal dari 32,2 HRC menjadi 10,35 HRC.

**Kata kunci:** Baja G17Cr-Mo9-10, Normalizing - Quenching Temper, Struktur Mikro, Kekuat

## I. PENDAHULUAN

Peran baja sangat penting dalam dunia industri, banyak rancangan komponen mesin pabrik yang menggunakan material tersebut. *Inlet casing* turbin termasuk dalam komponen mesin yang menggunakan material dari baja. Pada aplikasinya proses produksi *inlet casing turbine* menggunakan

proses pengecoran dengan cetakan pasir. Kualitas hasil proses pengecoran ditentukan oleh banyak hal, salah satunya bentuk sistem saluran yang baik. Sistem saluran ini harus memenuhi standar AFS dengan jumlah komponen dan formula perhitungan tertentu, seperti penentuan bentuk *runner* pada sistem saluran yang harus memenuhi hukum kontinuitas agar memperoleh kecepatan logam cair yang seragam ketika memasuki rongga cetak. Pada faktanya standar proses pembuatan cetakan masih belum sepenuhnya diaplikasikan oleh perusahaan pengecoran ketika memproduksi produk cor, sehingga memungkinkan hasil dari produk cor mengalami cacat. Seperti halnya penggunaan *runner* yang mempunyai penampang tetap tanpa adanya perbedaan penampang, secara teoritis tidak akan menghasilkan kecepatan yang seragam pada logam cair ketika memasuki *ingate* menuju rongga cetak. Ketidak seragaman kecepatan aliran tentunya akan menimbulkan potensi terbentuknya cacat pada hasil produk cor.

Di sisi lain kebutuhan produk cor harus memenuhi spesifikasi tertentu sesuai dengan permintaan, pada *inlet casing turbine* produk yang dihasilkan tentunya harus mempunyai kemampuan yang baik terhadap korosi, akibat lingkungan kerja pada fluida panas yang mengandung uap air. Sehingga pada proses pengecoran *inlet casing turbine* perlu unsur paduan tambahan berupa Cr dan Mo. Ketika sistem saluran dan parameter pengecoran tidak memenuhi standar maka kemungkinan bertambahnya resiko cacat pada benda hasil cor semakin tinggi. Hal tersebut mampu menurunkan kualitas produk cor, sehingga diperlukan proses lanjutan berupa serangkaian perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanik dari produk cor seperti proses Normalizing – Quench Temper.

Sehingga permasalahan utama pada penelitian ini yaitu efek dari penggunaan runner berpenampang tetap terhadap cacat hasil coran, serta efek Normalizing – Quench Temper terhadap kekuatan dan kekerasan baja G17CrMo9-10 hasil pengecoran dengan runner yang tidak berpenampang tetap.

## II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### A. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Bambang Kusharjanta (2012) mengenai pengaruh bentuk penampang runner terhadap cacat porositas dan kekerasan hasil cor aluminium. Penelitian

ini menggunakan variasi bentuk luasan penampang, terdapat 3 bentuk yaitu lingkaran, bujursangkar dan segitiga adapun produk cor berupa plat dengan dimensi panjang 100 mm, lebar 50 mm dan tebal 10 mm. Didapatkan hasil dari penelitian ini adalah pada bentuk penampang runner segitiga didapatkan porositas sebanyak 5,22%, sedangkan untuk luas penampang runner yang berbentuk lingkaran cacat porositas didapatkan sebanyak 1,79%, sementara untuk runner yang penampangnya berbentuk bujursangkar diperoleh cacat porositas sebanyak 2,81 %.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Agung Setyo Darmawan mengenai pengaruh proses quenching dan tempering terhadap kekuatan baja SCMnCr2, dari empat variasi perlakuan panas yaitu spesimen awal dan spesimen yang mengalami *treatment* temperatur austenisasi 850C quenching dan temper 600C dengan variasi holding time 20 menit, 30 menit dan 45 menit didapatkan kesimpulan bahwa nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan terbesar dari variasi yang dilakukan yaitu pada saat spesimen mengalami quenching dan tempering dengan waktu penahanan temper 20 menit.

### B. Baja G17Cr Mo9-10

Baja G17CrMo9-10 adalah baja yang lebih khusus digunakan pada lingkungan yang korosif dan ber temperatur tinggi. Baja ini sering digunakan sebagai valve, dan fitting serta semua komponen yang bekerja pada lingkungan bertekanan. Pemilihan baja ini tergantung pada temperatur lingkungan dan resistensi korosi yang ada lingkungan di sekitarnya. Baja ini mempunyai range perlakuan panas yang cukup luas dan mempunyai kemampuan untuk dilas jika terjadi cacat, dengan sifat mampu las baja ini mampu untuk direpair jika terjadi cacat, dikarenakan baja G17CrMo9-10 diproduksi dengan pengecoran yang hasilnya rentan terhadap retak[6].

Adapun kandungan kimia dari baja G17CrMo9-10 ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 1 Kandungan kimia baja (G17CrMo9-10).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Al	Sn
0.13	0.5	0.5	0.02	0.02	2.0	0.5	0.9	0.3	0.025	0.04	-
0.2	MAX	0.9	MAX	MAX	2.5	MAX	1.2	MAX	MAX	MAX	-

(Sumber: Data PT. Barata Indonesia)

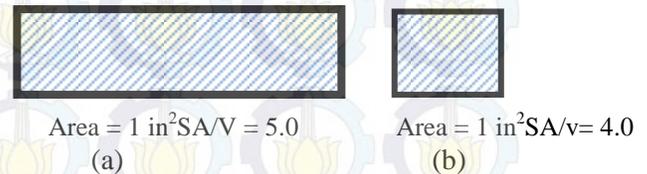
### C. Pengalir (Runner)

Riset AFS menunjukkan bahwa pengaturan terbaik untuk menjerat ampas dan menjamin keseragaman, *non turbulence* yaitu dengan cara menggunakan suatu *drag runner* dan *cope gates*. Hal ini menjamin runner untuk mengisi secara komplit sebelum logam cair masuk ke rongga cetakan (*mould cavity*). Bila *gating ratio* (*Sprue : Runner : Ingate*) adalah 1 : 4 : 4 kecepatan aliran logam cair cukup berkurang sehingga ampas atau terak yang dibawa aliran logam dapat berpisah dan dijerat pada permukaan kup dari *runner*.

Panjang minimum *runner* 5 – 6 in sebelum *ingate* pertama (ukuran rata-rata pengecoran) sehingga dapat digunakan untuk pemisahan ampas. Bentuk penampang *runner* yang ideal adalah segi empat atau mendekati

*trapezoidal* (segi empat sembarang) bertujuan meminimumkan turbulensi dan goyangan (*rocking*). Penuangan logam pada temperatur tinggi (misal : baja) akan lebih baik jika dituang dalam *runner* dengan perbandingan permukaan terhadap volume (*SA/V*) rendah sehingga meminimumkan kehilangan panas (*heat loss*). *Padagrey cast iron* dan logam *non ferrous* dapat dituang dengan *runner* dangkal lebar (*wide shallow runner*) dengan memberi permukaan kup tambahan sehingga dapat digunakan untuk menjerat ampas.

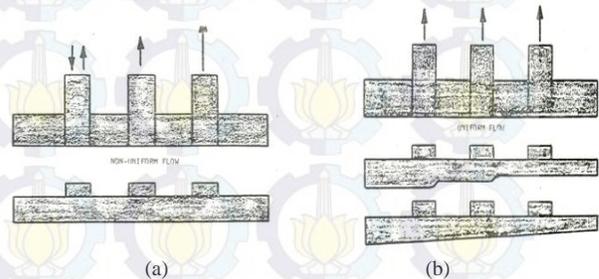
Berikut gambar *wide shallow runner* dan *square runner* pada gambar 2.10.



Gambar 1. (a) wide shallow runner, (b) square runner[9].

*Runner* dengan perbandingan daerah permukaan terhadap volume (*SA/V*) tinggi menunjukkan *friction loss* tinggi. Jumlah *ingate* yang digunakan tergantung pada bentuk dan ukuran dari pengecoran yang dituang. Dalam hal ini dibutuhkan *ingate* berlipat (*multiple ingates*) jika pengecoran bersusun dan panjang sehingga aliran logam cair akan *uniform* dan sama. Terkadang pada pengecoran juga memerlukan *riser* sehingga akan mengembangkan *gradient thermal* yang baik. Selain itu luas *ingate* total sama dengan luas *runner* total dengan *gating ratio* 1 : 4 : 4 (*Sprue : Runner : Ingate*).

Penggambaran bentuk *runner* ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



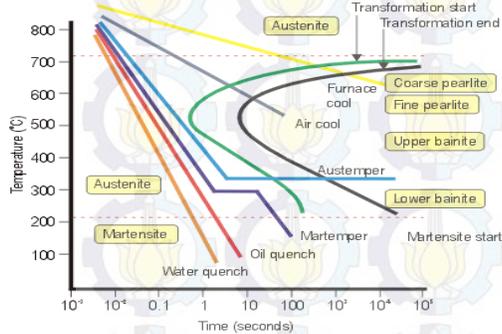
Gambar 2. (a) runner dengan kecepatan tidak seragam, (b) runner dengan kecepatan logam seragam[9].

### D. Proses Perlakuan Panas (Normalizing-Quenching Temper)

Proses *Normalizing* secara umum dapat diartikan sebagai proses perlakuan panas untuk memperlunak dan untuk mencapai homogenisasi komposisi kimia dan ukuran butir suatu material atau paduan, definisi ini lebih spesifik diterapkan pada baja. *Normalizing* yang biasa digunakan untuk memproduksi material dalam kondisi yang lunak, pemanasan yang dilakukan hingga mencapai titik austenitik lalu ditahan dan didinginkan secara perlahan[1]. Proses *quenching temper* adalah proses perlakuan panas kombinasi antara *quenching* yang dilanjutkan dengan *tempering*. Proses *quenching* adalah proses perlakuan panas dengan tujuan membuat material menjadi lebih keras, sedangkan *tempering* adalah proses

perlakuan panas yang bertujuan untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan keuletan dari material.

Berikut gambar 2 adalah CCT diagram perlakuan panas baja eutectoid.



Gambar 2. Kurva perbandingan media pendingin pada proses quench[9]

### III. METODOLOGI PERBOAAN

#### A. Pegecoran Plat

Proses pengecoran bertujuan untuk mendapatkan plat, plat tersebut akan diproses lebih lanjut untuk dijadikan spesimen uji. Adapun parameter proses pengecoran sebagai berikut:

- Bahan dasar : Baja scrap
- Dapur : Elektrik Furnace
- Suhu tuang : 1.608° C ( melting 4,5 jam)
- Cetakan : Cetakan pasir (*sand casting*)
- Unsur Paduan Utama : Cr, Mo

#### B. Perlakuan Panas

Proses *normalizing* dilakukan pada plat hasil dari pengecoran, setelah proses *normalizing* selesai maka akan dilakukan pemotongan sistem salur yang masih menempel pada plat tersebut. Adapun parameter *normalizing* yang dilakukan pada plat sebagai berikut:

- Suhu austenisasi : 910° C
- *Holding time* : 5,5 jam
- Proses pendinginan pada media udara

Proses berikutnya adalah *quenching-temper* pada plat yang telah mengalami *normalizing*, parameter proses *quenching-temper* adalah sebagai berikut:

- Suhu austenisasi *quenching* : 950° C
- Media *quench* berupa oli
- *Holding time quenching* : 5,5 jam.
- Suhu penahanan *tempering* : 720° C
- Proses pendinginan setelah *tempering* pada dapur
- *Holding time tempering* : 5 jam

#### C. Pengujian

Adapun pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

- Pengujian kandungan kimia (spektro)
- Simulasi aliran logam pada plat 1,5,10,15,20.
- Uji NDT mengetahui jumlah cacat hasil cor.
- Uji kekerasan dan tarik (standar ASTM A488).
- Uji struktur mikro.

### IV. DATA HASIL PERCOBAAN

#### A. Hasil Uji Spektro (kandungan kimia)

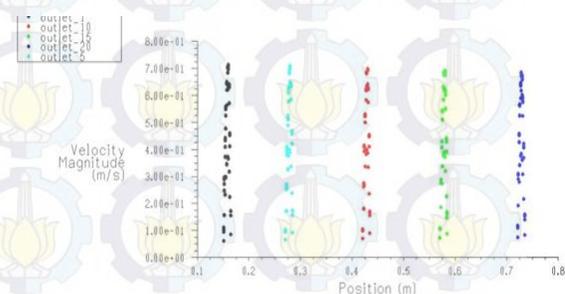
Berdasarkan uji spektro, menyatakan kualitas hasil coran sudah memenuhi standar kandungan unsur kimia berdasarkan material ASTM 217 WC9. Berikut ditunjukkan hasil uji spektro pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji spektrografi

Nama unsur	Jumlah kandungan %	Standar kandungan unsur penyusun baja G17CrMo9-10 menurut ASTM 217-WC 9
Carbon (C)	0,201	0.13 - 0.20
Mangan (Mn)	0,721	0.50 - 0.90
Cromium (Cr)	2,182	2.00 - 2.50
Molybdenum (Mo)	0,959	0.90 - 1.20
Cuprum (Cu)	0,058	(0.3 - MAX)
Nikel (Ni)	0,244	(0.5 - MAX)
Aluminium (Al)	0,080	(0.04 - MAX)
Sulfur (S)	0,013	(0.020 - MAX)
Titanium (Ti)	0,001	(0.025 - MAX)
Phospor (P)	0,028	(0.020 - MAX)
Silikon (Si)	0,324	(0.50 - MAX)

#### B. Hasil Simulasi aliran Kecepatan secara numerik.

Didapatkan nilai dan profil kecepatan yang hampir seragam antara plat 1,5,10,15,20 yaitu 0,7 m/s. Dimana plat ke 1 paling dekat dengan inlet dan ke 20 paling jauh dengan inlet logam cair. Gambar 3 menggambarkan hasil numerik nilai kecepatan aliran logam cair.



Gambar 3. Perbandingan kecepatan hasil simulasi numerik.

#### C. Hasil uji NDT (liquid penetrant)

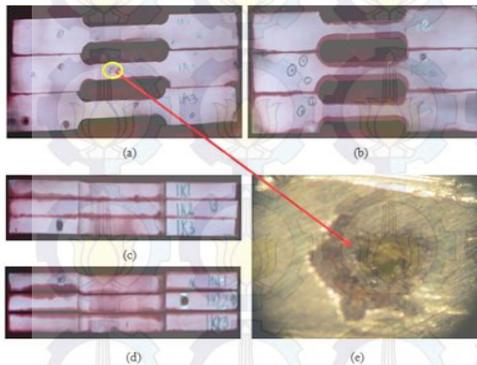
NDT dilakukan untuk mengetahui cacat akibat pengaruh profil aliran pada masing-masing plat karena penggunaan runner yang berpenampang tetap.

Tabel 3 menunjukkan tabulasi jumlah cacat pada plat, beserta nilai kekuatan tarik.

Tabel 3. Tabulasi jumlah cacat hasil uji NDT

No Kode Plat	Lokasi cacat			HASIL UJI TARIK		Standar kekuatan tarik baja 217 WC 9 berdasarkan ASTM
	Gauge Length	Handle (pemegang)	Total cacat pada plat	TENSILE STRENGTH (Mpa)	NILAI RATA-RATA TARIK (Mpa)	
1	A	2	5	578,65	599,79	485 Mpa - 655 Mpa
	B	2	12	601,14		
	C	1	8	619,58		
5	A	1	12	612,61	618,51	
	B	2	2	594,52		
	C	5	5	648,40		
10	A	2	16	554,78	594,19	
	B	3	3	594,90		
	C	2	5	632,91		
15	A	4	5	587,83	619,82	
	B	2	10	638,84		
	C	3	16	632,79		
20	A	5	6	565,55	582,63	
	B	4	15	591,11		
	C	4	23	591,23		

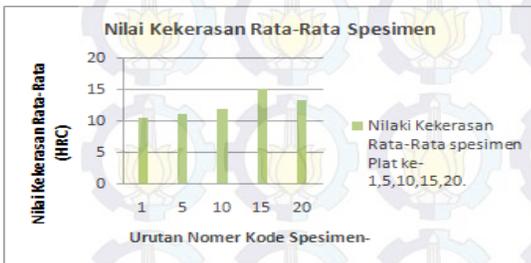
Berikut salah satu contoh cacat yang terjadi pada spesimen plat ke 1. Ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4.. (a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat porositas pada permukaan perbesaran 50x.

**D. Hasil uji Kekerasan Dan Tarik.**

Berikut adalah data hasil uji tarik dan kekerasan material plat ke 1,5,10,15,dan 20. Serta perbandingan antara material awal baja cor G17CrMo9-10 tanpa treatment dengan baja G17CrMo9-10 yang udah di kenai laku panas.



Gambar 5. Kekerasan plat 1,5,10,15 dan 20.

Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen plat 15 yaitu mencapai 15,12 HRC sementara untuk spesimen plat ke1 nilai kekerasannya terendah dibandingkan dengan yang lain yaitu mencapai 10,53 HRC. Untuk spesimen ke5 nilai kekerasan mencaai 11,13 HRC dan untuk spesimen ke10 dan ke20 nilai kekerasannya adalah 11,96 HRC dan 13,33 HRC.

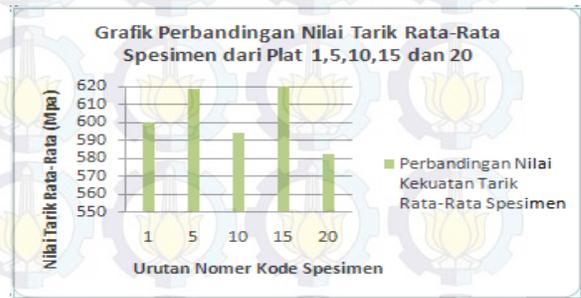
Adapun perbandingan kekerasan material awal dan hasil laku panas ditunjukkan pada gambar 6 berikut.



Gambar 7. Perbandingan kekerasan material awal dan material laku panas.

Nilai kekerasan material awal lebih tinggi yaitu 32,2 HRC , sedangkan untuk material hasil perlakuan panas bernilai 12,37 HRC. Penjelasan mengenai hal ini mengarah pada pengaruh tpmper yang dilakukan.hasil dari pada tempering membuat material menjadi lebih lunak.

Adapun hasil uji tarik dari material 1,5,10,15,20 ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil uji tarik material.

Spesimen plat ke 1 nilai tarik rata-rata mencapai 599,79 Mpa, untuk spesimen plat ke5 bernilai 618,51 Mpa, untuk spesimen plat ke 10 dan ke 15 nilai tarik rata-rata mencapai 594,19 Mpa, 619,82 Mpa sedangkan untuk spesimen plat ke20 nilai tarik rata-rata mencapai 582,63 Mpa.

Berikut hasil nilai kekuatan tarik material awal dan hasil laku panas, pada gambar 9.

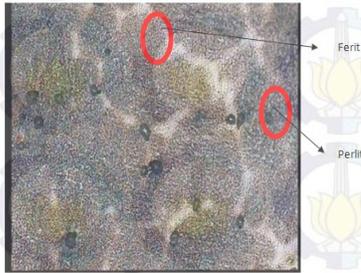


Gambar 9. Kekuatan tarik.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa material hasil perlakuan panas mempunyai nilai kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan material awal. Kekuatan tarik rata-rata material awal mencapai 478 Mpa sedangkan untuk material yang mengalami perlakuan panas annealing- quenching temper mencapai 602,98 Mpa.

### E. Hasil Uji Struktur Mikro

Dapun hasil uji struktur mikro pada material awal dan material hasil perlakuan panas ditunjukkan pada gambar 10 dan 11. Dimana struktur etsa yang digunakan adalah nital 5% dengan waktu 7 detik.



Gambar 10. Struktur mikro material awal (perbesaran 50x)



Gambar 11. Struktur mikro material hasil lakun panas (perbesaran 50x)

Dari kedua gambar diatas didapatkan bahwa stuktur mikro material awal berupa perlit dan ferrit hal ini sesuai dengan kondisi kadar karbon baja sebesar 0.2% . sedangkan setelah mengalami perlakuan panas Normalizing-Quench-Temper didapatkan strukur mikro martensit temper dan ferit.

## V. ANALISA DAN PEMBAHASAN

- Penggunaan bentuk runner yang berpenampang tetap tidak sesuai dengan standar AFS, aturan proses pengecoran secara teoritis untuk mencapai hasil coran yang baik, dengan luasan penampang yang seragam maka akan mengakibatkan perbedaan *massflow* pada benda coran sehingga dikuatirkan memperbesar selisih waktu solidifikasi antar bagian benda cor. Hal ini tentu akan mempengaruhi kualitas hasil coran ditinjau dari beberapa aspek salah satunya jumlah cacat hasil coran, dimana cacat juga akan mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan dari benda coran.

- Nilai kecepatan aliran logam saat memasuki plat ke-1, 5, 10, 15 dan 20 dijelaskan pada gambar 5.3 diatas. Profil kecepatan kelima plat nilainya hampir sama yaitu 0,7 m/s. Perubahan kecepatan dari kelima plat tidak begitu signifikan, bahkan selisih nilai kecepatan aliran logam antar plat rata-ratahanya 1/1000 m/s. Walaupun demikian nilai kecepatan masing-masing dari kelima plat masih dapat dibedakan karena batas desimal yang dipakai untuk mencapai konvergensi simulasi sebesar 1/1.000.000 m/s. Sehingga hasil kualitas pengecoran kelima plat tidak menutup kemungkinan hampir

sama. Melihat distribusi kecepatan yang relatif sama dari kelima plat.

- Dari serangkaian proses simulasi yang telah dilakukan, hasil simulasi memperkuat hipotesa bahwa semakin jauh jarak plat dari pouring basin maka nilai kecepatan aliran logam cair pada plat tersebut akan semakin kecil walaupun perbedaan kecepatan antar plat sangat kecil hanya 1/1000 desimal. Hasil distribusi kecepatan dari simulasi sejalan dengan hipotesa awal. Hal tersebut direpresentasikan dalam bauran warna yang berbeda pada setiap masing-masing daerah lokal pada benda cor. Dengan demikian tidak menutup kemungkinan jumlah cacat pada ke25 plat relatif sama.

Efek adri aliran yang hampir sama mengakibatkan hasil kualitas pengecoran kelima plat tidak hampir sama. Melihat distribusi kecepatan yang relatif sama dari kelima plat. Dari serangkaian proses simulasi yang telah dilakukan, hasil simulasi memperkuat hipotesa bahwa semakin jauh jarak plat dari pouring basin maka nilai kecepatan aliran logam cair pada plat tersebut akan semakin kecil walaupun perbedaan kecepatan antar plat sangat kecil hanya 1/1000 desimal. Hasil distribusi kecepatan dari simulasi sejalan dengan hipotesa awal. Hal tersebut direpresentasikan dalam bauran warna yang berbeda pada setiap masing-masing daerah lokal pada benda cor. Dengan demikian tidak menutup kemungkinan jumlah cacat pada ke25 plat relatif sama. Untuk material awal secara teoritis seharusnya mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik material yang mengalami perlakuan panas anealling-Quenching Temper. Hal ini dikarenakan perubahan struktur mikro material awal yang mengalami perubahan setelah dikenai perlakuan panas. Struktur mikro awal berupa ferrit-perlit sementara struktur mikro hasil perlakuan panas mengandung ferrit-martensit temper sehingga nilai kekuatan tarik material hasil perlakuan panas lebih besar mengingat struktur martensit berupa BCT.

- Sejalan dengan teori kekuatan hasil uji tarik, seharusnya nilai kekerasan tertinggi yaitu pada spesimen ke1, sedangkan yang terendah adalah spesimen ke20. Akan tetapi hasil yang didapatkan dari percobaan berbeda dengan tinjauan secara teori. Hasil nilai kekerasan pada percobaan sejalan dengan hasil nilai uji tarik dari percobaan. Penyebab dari ketidaksesuaian bisa diakibatkan oleh distribusi lokasi cacat pada masing-masing plat. Jika cacat pada plat tidak berada pada area spesimen uji kekerasan maka cacat tersebut tidak akan mempengaruhi nilai kekerasan dari spesimen tersebut. dengan demikian sangat mungkin jika pada plat ke15 hasil nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan yang lain. Akan tetapi dalam hal ini masih terdapat konsistensi hasil percobaan, pada percobaan uji tarik nilai tarik rata-rata tertinggi yaitu pada spesimen plat nomer 15 sebesar 619 Mpa begitu juga dengan hasil percobaan uji kekerasan. Nilai tertinggi yaitu pada spesimen ke15 dengan nilai kekerasan 15,13 HRC. Hal ini sesuai dengan teori sifat mekanik yang menyatakan bahwa kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan. Tetapi jika dibandingkan dengan material, nilai kekerasan material hasil laku panas mengalami penurunan. Hal itu disebabkan proses temper yang menghilangkan internal stress dari material uji, sehingga kekerasannya turun.

## VI KESIMPULAN

1. Pengecoran dengan menggunakan runner berpenampang tetap untuk dimensi benda cor yang berukuran kecil dengan panjang runner 100 cm tidak memberikan perbedaan kecepatan aliran yang signifikan pada plat ke 1, 5, 10, 15 dan 20. Rata-rata kecepatan kelima plat 0,7 m/s. Sehingga disimpulkan tidak ada perbedaan kecepatan aliran logam untuk kelima plat.
2. Nilai kekuatan tarik kelima plat relatif sama dan memenuhi rentang standar ASTM 217WC9 begitu juga dengan nilai kekerasan kelima plat. Sejalan dengan kecepatan aliran kelima plat yang dinyatakan sama.
3. Perlakuan panas Normalizing - Quenching Temper meningkatkan kekuatan tarik rata-rata dari material awal dari 487 Mpa menjadi 602 Mpa akibat terbentuknya martensit temper dari proses laku panas. Proses laku panas juga menurunkan kekerasan material awal dari 32,2 HRC menjadi 10,35 HRC, akibat berkurangnya tegangan sisa setelah dikenai proses temper.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah kami haturkan kepada Allah SWT. Karena kami dikaruniai buah pikir yang bermanfaat. Terimakasih kepada ibuk, bapak, adek gandoz serta teman-teman yang telah mendukung terselesaikannya penelitian ini. Kepada Prof. Wajan Berata dan pak Wahyu Wijanarko, MSc, selaku dosen yang membimbing saya. Kepada PT. Barata Indonesia yang memberikan kesempatan bagi saya untuk meneliti permasalahan yang ada disana, terimakasih mbak Fitri. Dan rekan penelitian saya yang selalu menemani dalam berbagai kondisi terimakasih Bang Pret, serta teman-teman terdekat saya. Saya ucapkan banyak terima kasih. Semoga curahan rahmat dan barokah Allah selalu diberikan kepada kita. Sehingga menjadi pribadi yang menebar harum dan bermanfaat.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. CR, Brook. 1996. Heat treatment of plain carbon and low alloy steels. New York: ASM International
- [2]. Agung, Darmawan. "Pengaruh proses quenching dan tempering terhadap kekuatan baja SCMnCr. UMM.
- [3]. Kusharjanta, Bambang. 2012. "Pengaruh bentuk penampang runner terhadap cacat porositas dan kekerasan hasil cor aluminium. UNS
- [4]. Clark, Donald S. dan Varney, Wilbur R., 1962, "Physical Metallurgy for Engineers, 2<sup>nd</sup> Edition", California Institute of Technology, United States of America.
- [5]. Surdia, Tata dan Saito, Shinroku Dr., 2000, "Pengetahuan Bahan Teknik", Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6]. ASTM Handbook, "Standard Specification for steel castings, Martensitic Stainless and Alloy, Suitable For High Temperature Service". American Standard for Testing and Materials.
- [7]. Avner, Sidney H., 1974, "Introduction to Physical Metallurgy", McGraw Hill Book Company, New York.

- [8]. Suherman, Wahid. 1998. Diktat Kuliah Ilmu Logam I. Teknik Mesin ITS.
- [9]. [www.wikipedia.edu](http://www.wikipedia.edu)
- [10]. Callister, William D. Jr., 2007, "Materials Science and Engineering an Introduction", John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [11]. Dieter, George E., 1986, "Mechanical Metallurgy 2<sup>nd</sup> Edition", America.
- [12]. Mehl, Robert F., 1973, "Atlas of Microstructure of Industrial Alloys 8<sup>th</sup> Edition", American Society for Metals, Ohio.
- [13]. Novika Lestianadan Soeharto, 2006, "Pengaruh Quench Temper Terhadap Baja AISI 1040". ITS; Surabaya.