



TUGAS AKHIR – TM 091486

**ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN SISTEM SALURAN
DENGAN RUNER BERPENAMPANG TETAP DAN
PERLAKUAN PANAS (NORMALIZING- QUENCH TEMPER)
TERHADAP SIFAT MEKANIK KEKERASAN DAN KEKUATAN
TARIK BAJA G17CrMo9-10 HASIL PENGECORAN.**

**SUPRI ARIANTO
NRP 2110 100 061**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014**



FINAL PROJECT – TM 091486

ANALYSIS OF INFLUENCE GATING SYSTEM WITH FIXED SECTION AREA RUNNER AND EFFECT OF HEAT TREATMENT NORMALIZING – QUENCH TEMPER ON MECHANICAL PROPERTIES (ULTIMATE TENSILE STRENGTH AND HARDNESS) OF G17CR- MO 9-10 STEEL FROM CASTING PRODUCT.

**SUPRI ARIANTO
NRP 2110 100 061**

**Academic Supervisor
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2014**

**ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN SISTEM SALURAN DENGAN
RUNER BERPENAMPANG TETAP DAN PERLAKUAN PANAS
(NORMALIZING-QUENCH TEMPER) TERHADAP SIFAT
MEKANIKEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK BAJA G17CrMo9-
10 HASIL PENGECORAN.**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Bidang Studi Metalurgi

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SUPRI ARIANTO

NRP : 2110 100 061

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA (Pembimbing)
2. Dr.Ir. Soeharto, DEA (Penguji 1)
3. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc (Penguji 2)
4. Putu Suwarta , ST, M.Sc (Penguji 3)

SURABAYA

JULI 2014

**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.**

Nama : Supri Arianto
Nrp : 2110100061
Jurusan : Teknik Mesin
Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Wajan Berata, DEA

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 penetrant.

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, Kekuatan.

**ANALYSIS OF INFLUENCE GATING SYSTEM WITH
FIXED SECTION AREA RUNNER AND EFFECT OF
HEAT TREATMENT NORMALIZING – QUENCH
TEMPER ON MECHANICAL PROPERTIES (ULTIMATE
TENSILE STRENGTH AND HARDNESS) OF G17CR-
MO 9-10 STEEL FROM CASTING PRODUCT.**

Name : Supri Arianto
NRP : 2110100061
Department : Teknik Mesin
Academic Supervisor : Prof. Dr.Ir. Wajan Berata, DEA

Abstract

Steel is one kind of material that commonly used in industrial sector, such as inlet casing turbine. Production process for turbine inlet casing used sand casting method. Mostly, the failure of casting product are caused by the fault in casting process such as selection of the gating system that's not standard. Just like the using standart runner with fixed section area during the casting process, its may make a defect on the product. To repair the mechanical properties of the casting product, usually used heat treatment method, such as normalizing-quench temper.

This research used 5 plate from casting product. The difference between those 5 plate is the flow velocity of liquid metal when it entered mould cavity for each plate. Before the tensile and hardness test is done, first step the plate was treated by normalizing and quenching-temper. Normalizing process will do with austenizing temperature at 910 C. Quenching process will do with austenizing temperature at 950 C, and the tempering process was heat treated from ambient temperature up to 720 C. Normalizing and quenching process have 5,5 hour of holding time. And then tempering process have 5 hour of holding time.

Next step is tensile test, hardness test, metallography test and non destructive test by liquid penetrant.

Based on the research, it can be concluded that casting process use fixed section area of runner, with 100 cm length, can not decrease the flow velocity of molten metal. It's caused by the dimension of casting product too small. So the decreases of flow velocity from plate 1,5,10,15 and 20 not too different. Average flow velocity of 5 plate is 0,7 m/s. Average tensile strength of 5 plate not too different, the value of average tensile strength include in ASTM 217 WC9 standard. Same with tensile strength value, the hardness value of 5 plate not diferent too. In the other side Normalizing –quench temper process increase the average tensile strength of raw material from 487 Mpa to 602 Mpa. The process also decrease hardness value of raw material from 32,2 HRC to 10,35 HRC.

Key word : G17Cr-Mo9-10 steel, Normalizing - Quenching Temper , Micro structure, strength.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas ramat dan hidayahnya-Nya, tugas akhir yang berjudul “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” ini dapat disusun dan diselesaikan dengan lancar. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya Tugas Akhir ini, oleh karena itu pada kesempatan ini kami sampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan junjungan besarku, Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan ketenangan dalam jiwaku.
2. Bapak, Ibu tercinta beserta adik gandozz petozz (semoga jadi mahasiswa teknik mesin ITS juga) , anggota keluarga (keponakanku yang lucu dan menghibur saat suntuk di kost Putri N Silvi), dan orang - orang yang saya cintai atas doa dan dukungannya.
3. Bapak Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc. dosen wali terbaik bagi saya terimakasih telah menyimpan paper dream saya.
4. Ir. Bambang Pramujati, M.Sc, Ph.D selaku Ketua jurusan.
5. Prof, Dr. Ir. Wajan Berata, DEA. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Teknik Mesin FTI - ITS. yang telah banyak memberikan bimbingan dan nasehat kepada penulis.
6. Partner TA ku, saudara sekaligus ketua MMC ku Ervan (Yik) yang sering tak ajak berantem dan jadi obyek ocehanku. Maaf ya haha. Terimakasih sudah menjadi saudara dan teman yang luar biasa. Begitu juga teman-teman MMC ku Risti gendut siro babi, Endah N Reisa, Danu Ciyus,

Agung, Ryan MMC menjadi lebih baik yaaa, maaf kalo dulu saya sekum yang paling crewet dan pemarah.

7. Teman-teman mbolang, Alan (sahabatku kos dan teman mbolang) Eka Marliana, Nava, Ganda, Isma, Anas, Rifqi.
8. Saudara-saudaraku dosen wali yang luar biasa Subairi, Gallih, Danny, Arfi, Tyas, Endah, Chika, Ardian, Pandhu popo, Alvin, Anis, Deni debo, Ageng, Pepeng ayo rek yang belum lulus segera lulus. Kalian orang-orang hebat..
9. PT. BARATA INDONESIA dan civitasnya, khususnya Mbak Fitri terimakasih banyak mbak, Pak Nurul, Pak Gik, Mas Gendut lab, Mas Beni, semoga Barata tambah jaya.
10. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2010 M-53, banyak hal yang telah kita lewati bersama.
11. Teman seperjuangan lab metal Mas Munir, Mas Dio, Mas Anjar dan Mas Rohman , Fira, budhita, dono, galang, Esthi, Hindun, Zahra (semangat 111 angka cantik buat zahra)
12. Pak Endang , Pak Budi, Pak Mantri, Mas Agus yang telah memberikan banyak ilmu.
13. Teman-teman departemen PPIM-HMM, Pak kadep Acol (orang yang sombong sok, tapi luar biasa haha) maafkan kabiromu yang selalu memarahimu ini , nenek Fitri, dan mbak Atik, dan arfi upin.
14. Teman-Teman Laboratorium Perpindahan Panas, Ruri, tegar aji, Mas Uza, Rosyid, Anis, Andi, Danan, Mas Cungkring, mas Sule, Mas Sena, Mbak Sheli, Mbak Viki, Mas Bagus terima kasih waktunya dukungannya dan semuanya.
15. Teman-Teman RESHOLUSI 6, dan Sahabatku Terbaik SMA Kholid dan Deni, Alhamdulillah mimpi kita tercapai. Janji kita bertemu di kehidupan yang jauh lebih baik.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Juli 2014

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat hasil Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	8
2.2.1. Baja Karbon.....	8
2.2.2. Baja G17CrMo9-10	9
2.2.3. Pengaruh Penambahan Cr dan Mo.....	9
2.2.4. Pegecoran Pada Baja	10
2.2.5. Pasir Cetak dan Pengikat Dalam	10
2.2.6. Perencanaan Sistem Saluran dan Pola.....	12
2.2.7. Proses Penuangan Baja.....	17
2.2.8. Cacat Pada Benda Cor.....	23
2.2.9. Proses Perlakuan Panas.....	24
2.2.10. Proses Normalizing.....	26
2.2.11. Proses Quench pada Baja.....	28
2.2.12. Proses Temper Pada Baja.....	30
2.2.13. Quench-Temper.....	31
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2. Material Benda Uji.....	37
3.2.1. Proses pembuatan dan bentuk spesimen	38
3.3. Peralatan.....	42
3.1.1. Peralatan pembentuk spesimen	42
3.3.2. Peralatan uji.....	43

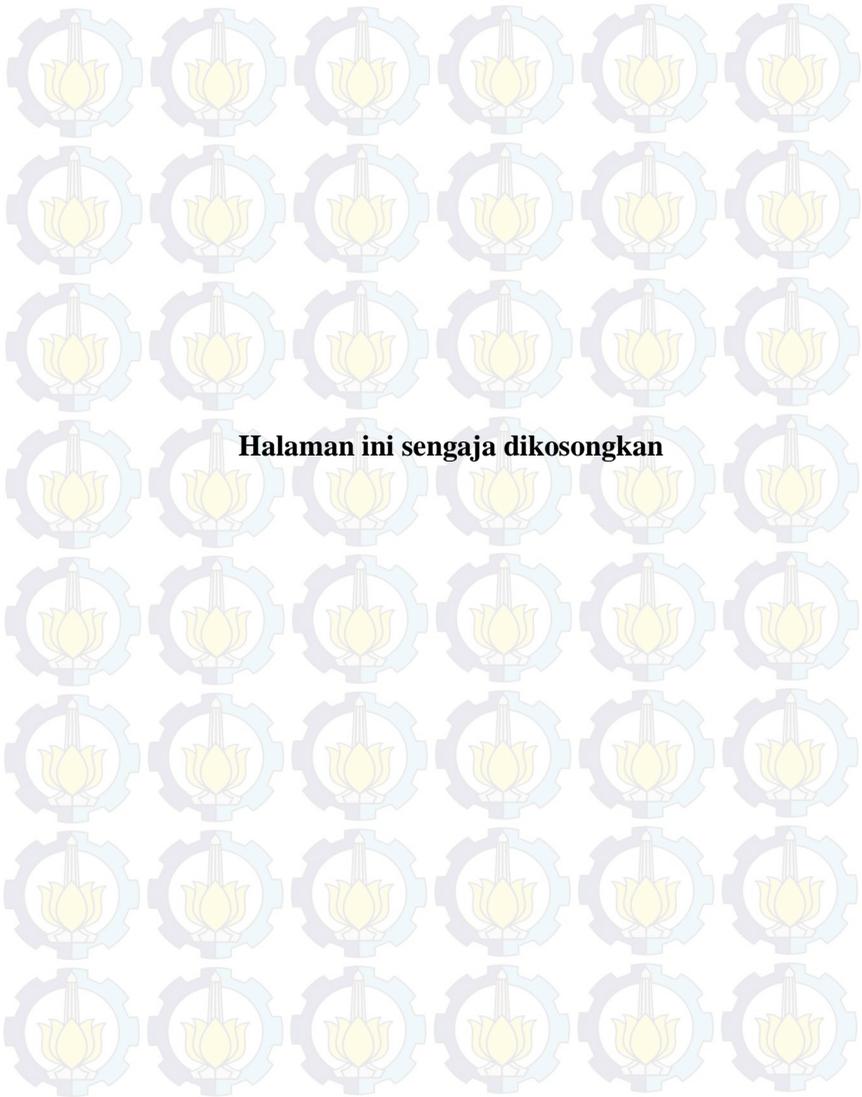
3.4. Langkah-Langkah Pengujian.....	43
3.4.1. Pengujian Komposisi Kimia.....	43
3.4.2. Pengujian Kekerasan.....	45
3.4.3. Pengujian Tarik.....	46
3.4.4. Pengujian NDT Penetrant.....	47
3.4.4. Pengamatan Struktur Mikro.....	48
BAB IV DATA HASIL PERCOBAAN	
(a). Data Hasil Uji Spektro.....	51
(b). Data Hasil Uji tidak Merusak (Penetrant).....	52
(c). Data Hasil Uji Tarik.....	66
(d). Data Hasil Uji Kekersan.....	68
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
5.1. Analisa Pengaruh Runner Terhadap Distribusi Kecepatan Aliran Logam Cair Pada Masing-Masing Plat Dengan Menggunakan Simulasi Numerik Fluent.....	71
5.2. Analisa Cacat Hasil Coran.....	74
5.3. Uji Tarik.....	76
5.4. Uji Kekerasan.....	80
5.5 . Uji Metalografi.....	83
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan.....	87
6.2. Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	89
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Porositas pada runner lingkaran, (b) Porositas pada runner bujursangkar, (c) Porositas pada runner segitiga.....	5
Gambar 2.2.	Hasil uji kekersan dari ketiga variasi runner.....	6
Gambar 2.3.	Grafik hasil uji tarik.....	7
Gambar 2.4.	Grafik hasil uji kekerasan.....	7
Gambar 2.5.	Pasir silika (SiO ₂).....	12
Gambar 2.6.	Sistem Saluran menurut AFS.....	13
Gambar 2.7.	Perancangan pouring basin yang baik.....	11
Gambar 2.8.	Dimensi dari saluran turun.....	14
Gambar 2.9.	Hemispherical Sprue, (b) Sprue yang ideal	15
Gambar 2.10	(a) wide shallow runner, (b) square runner.....	16
Gambar 2.11.	(a) Runner dengan kecepatan tidak seragam, (b) Runner dengan kecepatan logam seragam.....	18
Gambar 2.12.	Macam- macam bentuk ingat.....	19
Gambar 2.13.	Pengaruh sistem saluran pada aliran.....	19
Gambar 2.14.	Peleburan baja dengan daapur induksi.....	21
Gambar 2.15.	Tabel fluiditas baja.....	23
Gambar 2.16.	Daerah pemanasan proses <i>annealing</i>	26
Gambar 2.17.	Skematik temperatur – waktu dari <i>annealing</i>	27
Gambar 2.18.	Struktur mikro baja (AISI 1045) hasil normalizing pada temperatur 900°C terlihat fasa ferit dan perlit.....	27
Gambar 2.19.	Hubungan kandungan karbon terhadap kekerasan (a) sementit bulat (b) pearlit dan (c) martensit.....	29
Gambar 2.20	Kurva perbandingan laju pendinginan baja karbon 0,55% pada beberapa mediapendingin.....	29
Gambar 2.21	Struktur mikro pada pendinginan kontinyu (a) fine pearlite (bulat gelap) dan martensit (putih) (b) fine pearlite dengan beberapa bainit dan martensit	30

Gambar 2.22	Skema proses perlakuan panas quench-temper..	31
Gambar 2.23.	Grafik hubungan kekerasan dengan temperatur temper.....	32
Gambar 2.24.	Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada baja hasil quench-temper.....	33
Gambar 2.25.	Baja AISI 1040 austenitsasi pada temperatur 802°C waktu penahanan selama 40 menit dan di temper selama 6 jam. Menghasilkan spherodized carbide dengan matrik ferit.....	33
Gambar 3.1.	Diagram alir percobaan.....	35
Gambar 3.2.	Plat Inlet Casing Turbine.....	37
Gambar 3.3.	Mekanisme Normalizing.....	40
Gambar 3.4.	Mekanisme Quench-Temper.....	41
Gambar 3.5.	Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM A488.....	42
Gambar 3.6.	Mesin Spektro.....	44
Gambar 3.7.	Spesimen Uji Kekerasan.....	45
Gambar 3.9.	Mesin gerinda untuk proses gerinda dan poles..	48
Gambar 4.1 .	(a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat permukaan perbesaran 50x.....	56
Gambar 4.2 .	(a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat permukaan perbesaran 50x.....	58
Gambar 4.3 .	(a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat permukaan	

	perbesaran 50x.....	60
Gambar 4.4 .	(a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat permukaan perbesaran 50x.....	62
Gambar 4.5 .	(a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat permukaan perbesaran 50x.....	64
Gambar 5.1	Model simulasi benda cor dengan fluent.....	71
Gambar 5.2	Proses konvergensi aliran logam cair cor.....	72
Gambar 5.3	Perbandingan kecepatan hasil simulasi fluent...	73
Gambar 5.4	Tabulasi jumlah cacat pada plat.....	74
Gambar 5.5	Perbandingan kekuatan tarik rata-rata dari kelima plat.....	76
Gambar 5.6	Kekuatan tarik rata-rata material awal dan material hasil perlakuan panas.....	78
Gambar 5.7	Perbandingan nilai kekerasan kelima spesimen	80
Gambar 5.8	Perbandingan nilai kekerasan material awal dan material hasil quenching-temper.....	81
Gambar 4.9	Struktur mikro material awal Perbesaran 50X.....	83
Gambar 4.10	(a) Struktur mikro spesimen 1, (b) struktur mikro spesimen 5, (c) struktur mikro spesimen 10 perbesaran 10x.....	84
Gambar 5.10	(kontinyu). (d) struktur mikro spesimen plat ke-15, (f) struktur mikro spesimen plat ke-20 perbesaran 50X.....	85



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan kimia baja G17CrMo9-10.....	9
Tabel 3.1. Komposisi kimia standar ASTM 217 WC9 untuk baja temperatur tinggi.....	37
Tabel 3.2. Kekuatan tarik rata-rata baja ASTM 217 WC9.....	38
Tabel 3.3. Rancangan Tabel Uji Spektro.....	44
Tabel 3.4. Rancangan Tabel Uji kekerasan.....	46
Tabel 3.5. Tabel hasil uji tarik.....	47
Tabel 4.1. Hasil kandungan unsur pada baja G17CrMo9-10.....	51
Tabel 4.2. Gambar cacat pada setiap plat.....	52
Tabel 4.3. Jumlah cacat pada spesimen 1A,1B,1C.....	57
Tabel 4.4. Jumlah cacat pada spesimen 5A,5B,5C.....	59
Tabel 4.5. Jumlah cacat pada spesimen 10A,10B,10C.....	61
Tabel 4.6. Jumlah cacat pada spesimen 15A,15B,15C.....	63
Tabel 4.7. Jumlah cacat pada spesimen 20A,20B,20C.....	65
Tabel 4.8. Hasil uji tarik spesimen 1,5,10,15,20.....	66
Tabel 4.9. Nilai tarik rata-rata material awal vs material hasil laku panas	67
Tabel 4.9. Nilai kekerasan masing-masing spesimen.....	68
Tabel 4.9. Nilai tarik rata-rata material awal vs material hasil laku panas.....	69



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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. Ketidakseragaman 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.

Penambahan Cr dan Mo pada saat proses pengecoran baja turbin, menimbulkan permasalahan tersendiri. Hal tersebut dikarenakan terjadi peningkatan kekerasan pada hasil cor. Sehingga 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.

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.

Penelitian yang dilakukan oleh Lestiana Novika terhadap baja AISI 1045 dengan analisa fatik akibat proses perlakuan panas *quench temper*, didapatkan bahwa baja yang mengalami perlakuan *quench temper* memiliki kekuatan lelah yang lebih baik dibandingkan dengan baja awal[5]. 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 %.

Melihat pada permasalahan yang ada dan belajar dari hasil penelitian yang terdahulu maka, perlu sebuah penelitian yang meninjau efek penggunaan runner berpenampang tetap terhadap kualitas hasil cor ditinjau dari sifat mekanik, dimana hasil cor telah dilakukan proses perlakuan panas berupa *normalizing - quenching temper*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan sifat mekanik hasil coran yang mempunyai kecepatan aliran tak seragam akibat penggunaan luasan *runner* berpenampang tetap?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan panas *normalizing - quenching temper* terhadap sifat mekanik baja G17CrMo9-10 ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan maka, batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan untuk penelitian ini sesuai standar ASTM 217 WC9.
2. Proses laku panas sempurna dan merata pada semua material uji.

3. Proses pengecoran spesimen sesuai dengan prosedur PT. Barata Indonesia pembuatan baja inlet casing turbin dan dianggap mempunyai komposisi kimia yang sama.
4. Dimensi dan kekasaran spesimen dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa sifat mekanik hasil coran yang mempunyai kecepatan aliran tak seragam akibat penggunaan *runner* berpenampang tetap.
2. Menganalisa pengaruh perlakuan panas *normalizing – quenching temper* terhadap sifat mekanik baja G17CrMo9-10.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan bermanfaat untuk jangkauan yang luas. Ditunjukkan dengan hasil penelitian ini dapat digunakan semua pihak dan golongan masyarakat. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

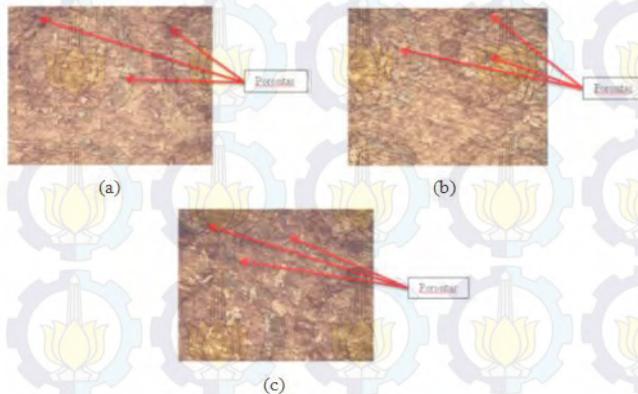
1. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya yang lebih detail.
2. Memberikan Informasi apakah kecepatan aliran tak seragam akibat penggunaan *runer* berpenampang tetap mempengaruhi sifat mekanik hasil cor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

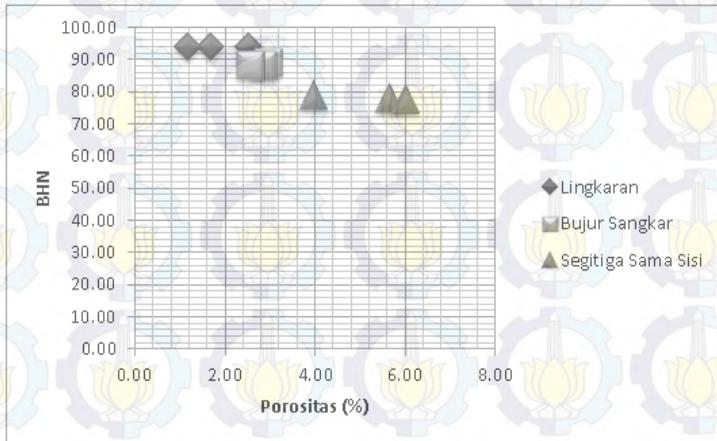
2.1 Tinjauan Pustaka

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 %. Adapun gambar hasil pengamatan cacat porositas dari ketiga variasi *runner* ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Porositas pada *runner* lingkaran, (b) Porositas pada *runner* bujursangkar, (c) Porositas pada *runner* segitiga[3].

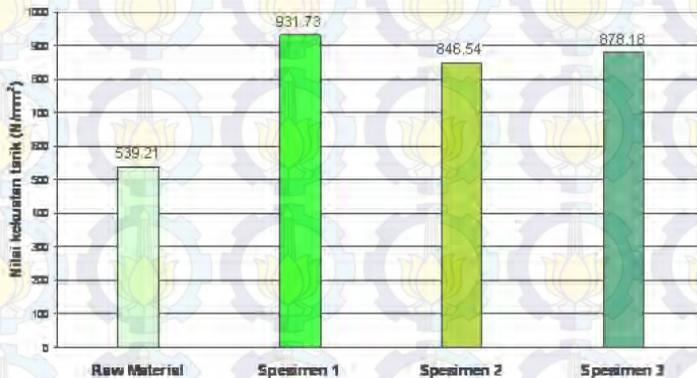
Hasil pengujian kekerasan masing-masing material ditunjukkan pada gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 hasil uji kekerasan dari ketiga variasi runner[3].

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.

Berikut ditunjukkan pada gambar 2.1 hasil pengujian tarik dan pada gambar 2.3 hasil uji kekerasan dari masing-masing variasi perlakuan panas.



Gambar 2.3 Histogram hasil uji tarik [2].



Gambar 2.4 Histogram hasil uji kekerasan [2].

Keterangan:

1: Raw Material

2: Spesimen Treatment Temperatur Austenitisasi 850 C Quenching + Temper 600 C 20 menit

3 : Spesimen Treatment Temperatur Austenitisasi
850 C Quenching + Temper 600 C 30 menit

4 : Spesimen Treatment Temperatur Austenitisasi
850 C Quenching + Temper 600 C 45 menit.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Baja Karbon

Baja merupakan paduan yang paling banyak digunakan karena sifat mekaniknya yang baik, baja didefinisikan sebagai paduan besi (Fe), karbon (C) dan elemen – elemen antara lain mangan (Mn) maksimum 1.65%, silikon (Si) maksimum 0.60% dan tembaga (Cu) maksimum 0.60%[8].

Baja karbon dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan kandungan karbonnya antara lain[3]:

1. Baja karbon rendah, kadar karbon sampai 0,25 %, penggunaannya sangat luas sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain-lain. Baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tetapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan dilakukan permesinan. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan (*case hardening*).
2. Baja karbon sedang, kadar karbon 0,25-0,55 %, lebih kuat dan keras, dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah, digunakan untuk keperluan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Baja ini banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, rantai, dan lain-lain.
3. Baja karbon tinggi, kadar karbon lebih dari 0,55 %, lebih kuat dan keras dari baja karbon medium, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk perkakas, yang biasanya memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor, reamer, tap dan perkakas tangan lainnya.

2.2.2 Baja G17CrMo9-10

Baja G17CrMo9-10 adalah baja yang lebih khusus digunakan pada lingkungan yang korosif dan beretemperatur 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 2.1 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)

2.2.3 Pengaruh Penambahan Cr dan Mo Pada Baja

Chrom merupakan salah satu unsur paduan yang sering digunakan pada baja. Chrom mencapai 13% pada perlit dan tak terhingga pada ferit. Pada baja karbon rendah Cr cenderung larut pada ferit serta meningkatkan ketangguhan dan kekuatan dari ferit. Ketika jumlah Chrom diperbesar maka akan memperbaiki ketahanan baja paduan terhadap korosi. Selain itu pada baja karbon sedang jika dipadukan dengan Chromium maka akan meningkatkan sifat tahan aus jika baja tersebut dikenai perlakuan panas. Molybdenum mampu menaikkan hardenability, molybdenum biasa dipadukan dengan Cr untuk meningkatkan ketahanan terhadap aus. Secara luas Mo yang dipadu dengan baja

carbon rendah. Jika dipadukan dengan baja carbon tinggi maka ketahanan terhadap aus juga semakin meningkat[7].

2.2.4 Pengecoran Pada Baja

Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan barang jadi dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan (Ade Sanjaya, 2010).

Proses pengecoran logam adalah suatu urutan pembuatan benda dengan menuangkan logam cair yang secara berkesinambungan mulai dari perancangan benda coran sampai dengan proses pengerjaan akhir. Perancangan benda coran merupakan proses awal yang dilakukan, sehingga mempengaruhi kualitas akhir produk yang akan dihasilkan. Perancangan coran harus pula memperhatikan proses-proses selanjutnya yang akan dilakukan agar memberi kemudahan bagi proses-proses selanjutnya dan tidak menimbulkan masalah. Hasil perancangan coran akan diterjemahkan menjadi desain pola dan selanjutnya akan dibuat pola dan kotak inti. Dengan pola tersebut maka dapat dibuat cetakan dan inti. Setelah cairan dan cetakan siap maka dilakukan penuangan ke dalam cetakan. Logam cair akan mengalami pendinginan selama beberapa waktu di dalam cetakan. Langkah selanjutnya adalah pembongkaran produk cor dari cetakan.

Dalam proses pengecoran banyak faktor yang harus diperhatikan seperti penggunaan jenis pasir dan pengikat, desain pola atau cetakan dan proses peleburan dan penuangan logam. Untuk memperoleh hasil produk cor yang baik faktor yang mempengaruhi hasil produk cor tentu harus diperhatikan dan dirancang sesuai dengan standar pengecoran.

2.2.5 Pasir Cetak dan Pengikat Dalam Proses Pengecoran

Pada pengecoran *sand casting* jenis pasir yang seringkali digunakan adalah pasir silika (SiO_2), ditemukan di banyak tempat,

dan tersebar di seluruh Nusantara. Pasir ini sangat cocok untuk cetakan karena tahan suhu tinggi tanpa terjadi penguraian, murah harganya, awet dan butirannya mempunyai bermacam tingkat kebesaran dan bentuk. Namun, angka muainya tinggi dan memiliki kecenderungan untuk melebur menjadi satu dengan logam. Karena kandungan debu yang cukup tinggi, dapat berbahaya bagi kesehatan. Pasir cetakan perlu diuji secara berkala untuk mengetahui sifat-sifatnya. Pengujian yang lazim diterapkan adalah pengujian mekanik untuk menentukan sifat-sifat pasir sebagai berikut:

1. Permeabilitas. Porositas pasir memungkinkan pelepasan gas dan uap yang terbentuk dalam cetakan
2. Kekuatan. Pasir harus memiliki gaya kohesi, kadar air dan lempung, mempengaruhi sifat-sifat cetakan.
3. Ketahanan terhadap suhu tinggi. Pasir harus tahan terhadap suhu tinggi tanpa melebur.
4. Ukuran dan bentuk butiran. Ukuran butiran pasir harus sesuai dengan sifat permukaan yang dihasilkan. Butiran harus berbentuk tidak teratur sehingga memiliki kekuatan ikatan yang memadai.

Pasir yang digunakan untuk membuat cetakan tentunya harus diikat oleh pengikat tertentu agar pasir mempunyai kemampuan mampu bentuk yang baik, sesuai dengan desain cetakan yang diinginkan, dalam proses pengecoran dikenal beberapa pengikat yang sering digunakan diantaranya paduan dari lempung dan bentonit dengan jumlah perbandingan tertentu, selain itu juga bisa digunakan resin sebagai pengikat pasir cetak. Selain untuk memberikan efek mampu bentuk pada pasir, penggunaan pengikat juga berfungsi sebagai penguat agar cetakan bersifat massif dan kuat menahan suhu panas dan kelembaman dari logam cair.



Gambar 2.5 Pasir silica (SiO_2) [9].

2.2.5 Perencanaan Sistem Saluran dan Pola Cetakan

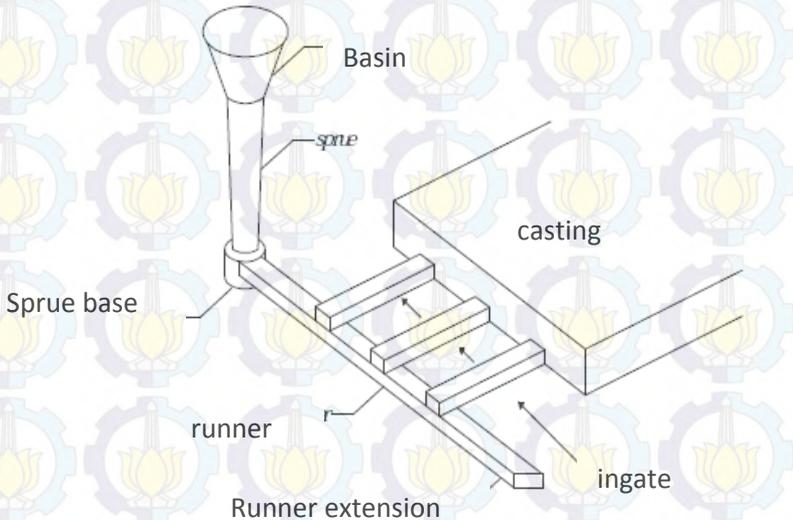
Salah satu unsur penting yang perlu diperhatikan dalam memproduksi produk pengecoran yang berkualitas tinggi adalah perancangan saluran (*gating design*). Upaya penelitian secara meluas telah banyak dilakukan dalam rangka mempelajari pengaruh perancangan saluran pada pola aliran logam cair saat memasuki cetakan. Penelitian penelitian

tersebut menunjukkan bahwa perancangan sistem saluran yang optimal dapat mengurangi turbulensi pada aliran logam cair, meminimalisasi udara yang terjebak, inklusi pasir, terbentuknya lapisan oksida dan terak (Shafiee et al., 2009).

Sistem saluran adalah jalan masuk bagi cairan logam yang dituangkan ke dalam rongga cetakan. Tiap bagian diberi nama, dari mulai cawan tuang dimana logam dituangkan dari *ladle*, sampai saluran masuk ke dalam rongga cetakan. Nama-nama itu ialah cawan tuang (*pouring cup*), saluran turun (*sprue*), pengalir (*runner*) dan saluran masuk (*ingate*) (Surdia dan Chijiwa, 2000).

Runner merupakan saluran yang mengalirkan logam cair dari saluran turun (*sprue*) ke saluran masuk (*ingate*) yang selanjutnya akan masuk ke rongga cetakan. Dengan mempertimbangkan bentuk penampang *runner* diharapkan akan mengurangi resiko terjadinya cacat yang sering timbul pada *sandcasting*. Penelitian ini akan mendalami tentang pengaruh bentuk penampang pengalir (*runner*) terhadap cacat pada coran dan sifat mekanik hasil coran. Berikut adalah uraian dari masing-

masing komponen dari sistem saluran sesuai dengan standar *AFS Horizontal Gating System*.

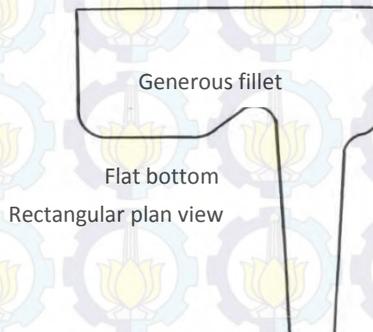


Gambar 2.6 Sistem Saluran menurut AFS[9].

a) Cawan Tuang (*Pouring Basin*)

Salah satu komponen dari sistem saluran adalah cawan tuang, cawan tuang adalah bagian mulut penuangan yang diperluas yang dapat dicetak dalam kup (*cope*) atau dibuat terpisah dan dipasang di atas kup. *Pouring basin* bentuk segi empat direkomendasikan untuk menyediakan jalan masuk yang layak bagi logam cair ke dalam mulut *sprue* (desain pouring basin digambarkan pada gambar 2.7). Karena pemakaian *basin* mengikuti penuangan tidak langsung mengakibatkan energi kinetik dari aliran jatuh berkurang. Penuangan tidak langsung juga mencegah secara langsung aliran awal ke dalam *sprue* yang dapat menimbulkan aspirasi dan turbulensi.

Bentuk ideal *pouring basin* adalah segi empat dengan bagian bawah datar, tujuan dari pada permukaan yang datar adalah untuk meminimumkan gerakan olakan (*swirling*) dan pusaran (*vortex*) saat penuangan logam cair. Selain itu kedalaman *basin* harus cukup untuk dapat mencegah terjadinya pusaran pada aliran logam cair *basin* harus cukup luas untuk mencapai target bagi crew penuangan mengisi cetakan sehingga logam cair tidak tumpah. Menurut AFS Horizontal Gating System saluran masuk pada mulut sprue harus berbentuk bulat bertujuan meminimumkan "*friction loss*" dan menjadikan aliran "*stream line*" *basin* dapat ditempatkan pada sisi botol (flask), sehingga bibir ladle dapat ditempatkan "*low over the basin*" selama penuangan. Pada saat logam dituang melalui udara pada jarak yang berlebihan (*excessive*) rawan mengakibatkan *severe turbulence* dan oksidasi terjadi proses pengecoran.



Gambar 2.7 Perancangan pouring basin yang baik[9].

b) Saluran Turun (Sprue)

Menurut AFS desain saluran turun yang baik adalah berbentuk tapered spruedengan penurunan penampang yang kecil (*small area down*)bertujuan untuk mengeliminasi aspirasi udara dan gas di dalam cetakan .

Dalam menentukan luas area minimum pada puncak sprue dapat dihitung dengan rumus :

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{h_1}{b}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

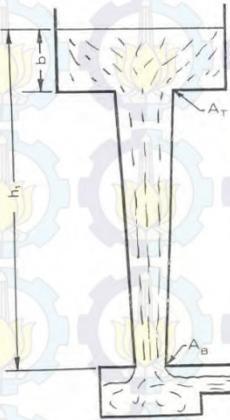
A_T = penampang sprue atas

A_B = penampang sprue bawah

h_1 = panjang sprue

b = kedalaman logam cair dalam cawan

Adapun ilustrasi dari persamaan (1) ditunjukkan pada gambar 2.8 seperti berikut:



Gambar 2.8 Dimensi dari saluran turun[9].

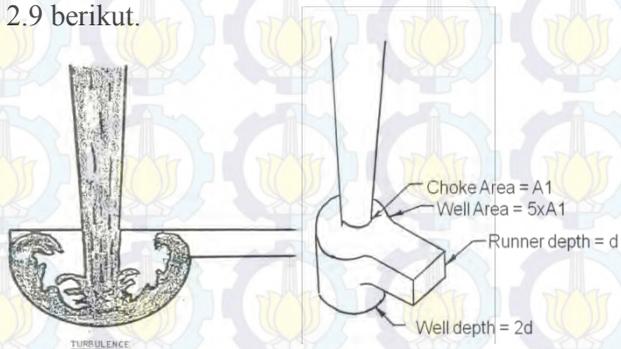
Luas daerah bagian *sprue* bawah berfungsi sebagai *choke* sehingga luasan sprue bawah luas penampang sprue bawah harus paling kecil .Pada waktu logam cair mengalir turun di dalam sprue cenderung membentuk pusaran akan cenderung menarik udara ke dalam aliran logam cair sehingga hal ini harus

dihindari. Gerakan pusaran dapat dihindari dengan merancang sprue berbentuk persegi panjang atau persegi empat. Bila tidak memungkinkan dilakukan dengan menggunakan *tapered sprue* maka dapat menggunakan sprue lurus (*straight sprue*).

c) ***Sprue Base***

Sprue Base adalah bagian dari sistem saluran yang berfungsi sebagai saringan (*Sprue basin/base*), merupakan perluasan yang berbentuk silinder atau segi empat pada dasar saluran sebagai penyaring kotoran logam cair. Selain itu *sprue base* banyak menyerap energi kinetik dari aliran jatuh dan memberikan aliran turbulen minimum. *Sprue base* dapat berbentuk lingkaran atau segi empat yang penting pada dasar bawah harus datar. Bila pada dasar bawah *sprue base* berbentuk *hemispherical* maka akan menyebabkan aliran menjadi turbulen secara ekstrim. Sementara itu jika *sprue base* berbentuk lingkaran maka luas dasar harus 5 kali luas *sprue bottom*, kedalaman harus 2 kali kedalaman *runner* dan pojok *sprue base* harus bulat.

Berikut adalah gambaran dari hemispherical sprue dan Sprue yang ideal (baik) pada proses pengecoran, ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.



(a) (b)

Gambar 2.9 (a) *Hemispherical Sprue*, (b) *Sprue yang ideal (baik)* [5].

d) 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*). Pada *grey 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.



Area = $1 \text{ in}^2 SA/V = 5.0$

Area = $1 \text{ in}^2 SA/v = 4.0$

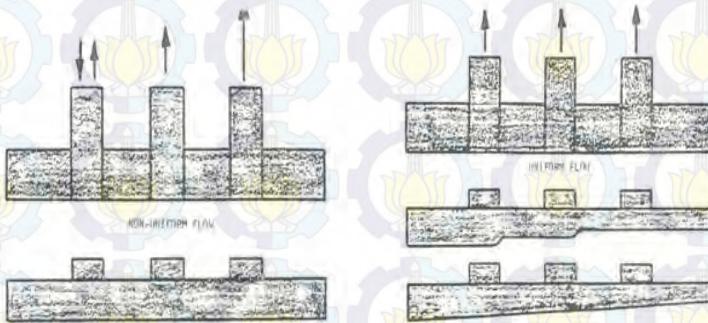
(a) (b)

Gambar 2.10. (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 2.11 berikut.



(a) (b)

Gambar 2.11 (a) runner dengan kecepatan tidak seragam, (b) runner dengan kecepatan logam seragam[9].

e) **Saluran Masuk (*Ingate*)**

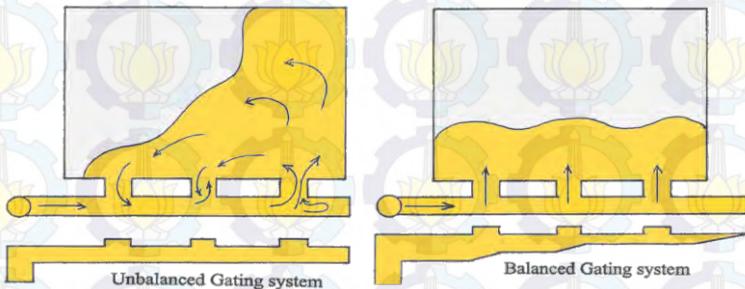
Saluran masuk (*Ingate*), merupakan saluran masuk ke rongga cetakan dari saluran turun. Saluran masuk suatu cetakan dapat lebih dari satu, tergantung dengan ukuran rongga cetakan yang akan diisi oleh logam cair.

Berikut akan ditunjukkan macam-macam bentuk ingate pada proses pengecoran pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Macam- macam bentuk ingate[9].

Berikut juga akan ditunjukkan efek dari penggunaan ingate dan runner pada proses pengecoran pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pengaruh sistem saluran pada kecepatan aliran[5].

f) **Runner Extension**

Runner extension adalah perpanjangan dari runner, komponen ini berfungsi sebagai penjebak kotoran. Ketika logam cair dituang dalam cetakan aliran logam cair yang pertama akan membawa banyak pengotor ataupun udara yang terjebak, sehingga diperlukan sebuah ruang yang mampu menjebak dan menampung kotoran yang terbawa. Sehingga kotoran tidak akan

memasuki rongga cetak, sehingga produk coran dapat terhindar dari cacat.

g) Pola (Cetakan)

Pola merupakan suatu model dari produk jadi untuk membuat cetakan. Ukuran polasesuai dengan ukuran produk jadi yang diinginkan ditambah dengan toleransi ukuran maupun toleransi bentuk. Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambar perencanaan menjadi gambar untuk pengecoran.

Hal-hal yang harus dipenuhi dalam pembuatan pola adalah:

- Pola harus mudah dikeluarkan dari cetakan dengan membuat permukaan pisah satu bidang, dan kup dibuat agak dangkal
- Penempatan inti pada pola harus mudah
- Sistem saluran harus sempurna bertujuan untuk mendapat aliran logam cair yg optimum
- Penghematan jumlah permukaan pisah akan mengurangi waktu pembuatan cetakan dan mengurangi tonjolan-tonjolan

Selain harus memenuhi kriteria yang telah disebutkan, pola harus mempunyai beberapa toleransi baik bentuk ataupun ukuran. Hal tersebut dikarenakan coran mengalami penyusutan pada waktu pembekuan dan pendinginansehingga perlu tambahan penyusutan pada ukuran pola. Besar penyusutan sering tidak isotropis, sesuai dengan bahan coran, bentuk, tempat, tebal coran, atau ukuran dan kekuatan inti.

Hal lain yang harus diperhatikan dalam pembuatan pola adalah kemiringan pola, diperlukan untuk memudahkan pengangkatan pola dari cetakan. Selain itu Penyusutan coran pada waktu pembekuan dan pendinginan mengakibatkan pengecilan dan pelenturan yang tergantung pada bentuknya. Untuk menghindari pelenturan pada coran maka pola sengaja dilenturkan dalam arah yang berlawanan (dengan jalan menempatkan rusuk-rusuk atau penambahan tebal sesuai dengan besar pelenturan yang diharapkan).

2.2.6 Proses Peleburan Pada Baja

Proses peleburan pada baja dilakukan dengan berbagai macam dapur, salah satunya dengan menggunakan dapur induksi. Peleburan dengan dapur induksi memanfaatkan energi listrik sebagai sumber panas. Listrik bertegangan AC dialirkan melalui koil yang berada didalam dapur. Pada bagian dalam dapur industri dilapisi oleh liner sebagai pelapis dapur induksi agar cairan logam tidak meluber ke segala arah. Proses pengecoran diawali dengan memasukkan bahan baku baja hingga jumlah tertentu sesuai dengan kapasitas dapur. Selanjutnya ditambahkan beberapa unsur paduan yang ingin ditambahkan untuk mendapatkan karakteristik baja yang diharapkan. Seperti unsur Cr, Mo, C, Mg dan Si serta unsur-unsur yang lain. Proses peleburan untuk baja tercapai pada suhu kurang lebih 1500°C untuk mencapai fase liquid. Adanya penambahan unsur kimia tertentu juga dapat meningkatkan titik lebur dari baja. Sementara proses penuangan baja dilakukan dengan syarat baja sudah melebur sempurna dan homogen. Proses penuangan dilakukan dengan suhu lebih tinggi dari titik lebur baja itu sendiri. Hal tersebut bertujuan untuk mengatasi panas yang keluar ke lingkungan ketika baja dituang pada cetakan sehingga baja tidak akan mengalami pembekuan dini. Berikut akan ditunjukkan proses peleburan baja pada dapur induksi pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Peleburan baja dengan dapur elektrik.

2.2.7 Perencanaan Penuangan Pada Pengecoran Baja

Waktu penuangan pada proses pengecoran harus diperhatikan, hal tersebut untuk menghindari terjadinya pembekuan pada logam sebelum penuangan selesai. Beberapa jenis baja dan logam mempunyai standar waktu penuangan tertentu, berikut adalah waktu standar penuangan untuk baja dan logam tertentu:

- Waktu tuang pada gray cast iron

$$\text{Waktu tuang (sec)} = K \left(0,95 + \frac{T}{0,833} \right) \sqrt{W} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

T = ketebalan logam rata-rata [in]

W = berat coran [lbs]

K = faktor fluiditas

- Waktu tuang pada ductile iron

$$\text{Waktu tuang (sec)} = K_1 \sqrt{W} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

$K_1 = 1,8$ untuk penampang 3/8 s/d 1 in tebal

$= 1,4$ untuk penampang $< 3/8$ in tebal

$= 2,0$ untuk penampang > 1 in tebal

- Waktu tuang untuk plain carbon

$$\text{Waktu tuang (sec)} = K \sqrt{W} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

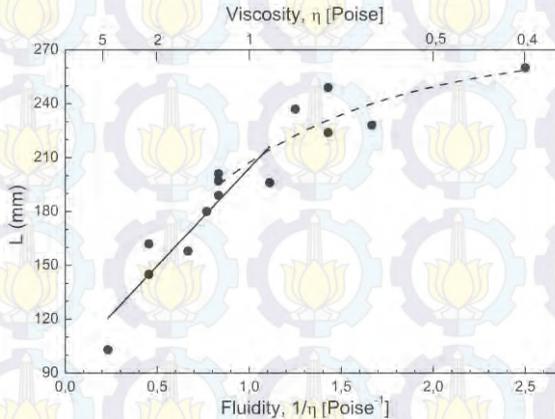
$K = 1,2$ untuk 100 lb coran s/d 0,4 untuk 100.000 lb coran

- Waktu tuang brass dan bronz

$$\text{Waktu tuang (sec)} = f \sqrt{W} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : $f = 0,9 - 2,6$ untuk coran > 30

Untuk menentukan faktor fluiditi pada baja dapat ditunjukkan pada gambar 2.15 berikut:



Gambar 2.15 Tabel fluiditas baja[8].

2.2.8 Cacat Pada Benda Cor Akibat Kesalahan Pada Runner

Hasil Produk cor tidak terlepas dari berbagai macam cacat yang terjadi selama pengecoran seperti porositas, penyusutan, hot tearing, lubang kecil, misrun dan blister. Cacat yang terjadi pada produk pengecoran biasanya disebabkan oleh pengadukan yang kurang baik, penuangan yang tidak tepat, pembekuan yang terlalu cepat serta desain cetakan yang tidak efektif (Bahtiar, 2012).

Ahmad dan Hashim (2011) meneliti tentang pengaruh diameter *vortex runner* sistem saluran pada kekuatan coran paduan Al-12Si. Hasil dari eksperimen tersebut adalah bahwa nilai kekuatan mekanik dari coran paduan Al-12Si berbanding lurus dengan diameter *runner* Shafiee et al. (2009) melakukan penelitian tentang pengaruh desain saluran *runner* pada kekuatan

mekanik coran paduan Al-Si7-Mg yang dicor menggunakan proses pengecoran pasir. Desain *runner* yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk belokan radius dan bentuk L. Pola aliran dari proses pengisian diidentifikasi menggunakan perangkat lunak simulasi ADSTEFAN. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa coran yang menggunakan saluran *runner* dengan bentuk belokan radius mempunyai kehandalan sifat mekanik yang lebih baik dan cacat porositas yang lebih sedikit dibandingkan bentuk belokan L.

Sun et al. (2008) merancang sistem saluran untuk pengecoran paduan magnesium. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain sistem saluran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas pengecoran magnesium. Empat parameter sistem saluran yang digunakan yaitu tinggi *ingate*, lebar *ingate*, tinggi *runner* dan lebar *runner* yang dioptimalkan dengan pertimbangan kriteria yang objektif termasuk kecepatan pengisian, penyusutanporositas, dan *product yield*. Dari simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa *runner* yang pendek namun lebar efektif menurunkan kecepatan di *ingate*.

Tjitro dan Gunawan (2003) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa bentuk penampang *riser* berpengaruh terhadap cacat pengecoran aluminium. Penelitian tersebut membandingkan pengaruh antara penampang *riser* berbentuk segiempat dengan penampang berbentuk bulat terhadap persentase cacat porositas pada coran. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa persentase cacat porositas pada penampang *riser* berbentuk segiempat lebih tinggi daripada penampang *riser* berbentuk bulat.

2.2.9 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu. Proses perlakuan panas dilakukan dengan cara memanaskan logam sampai ke temperatur tertentu, lalu menahan

beberapa saat pada temperatur itu, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan tertentu. Selama proses pemanasan dan pendinginan ini akan terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan struktur mikro ini akan menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam atau paduan tersebut. Perlakuan panas ada dua tipe, yaitu:

a. Laku panas dengan kondisi (mendekati) ekuilibrium

Laku panas ini akan menghasilkan struktur mikro yang mendekati kondisi pada diagram fasenya. Secara umum laku panas ini dapat disebut sebagai *annealing*. *Annealing* adalah suatu proses perlakuan panas yang diberikan pada baja dengan memanaskan baja tersebut sampai temperatur austenisasi lalu ditahan dalam selang waktu tertentu kemudian didinginkan dengan sangat lambat dengan cara dibiarkan di dalam dapur sehingga baja akan menurun temperaturnya seiring menurunnya temperatur di dalam dapur.

b. Laku panas dengan kondisi non-ekuilibrium

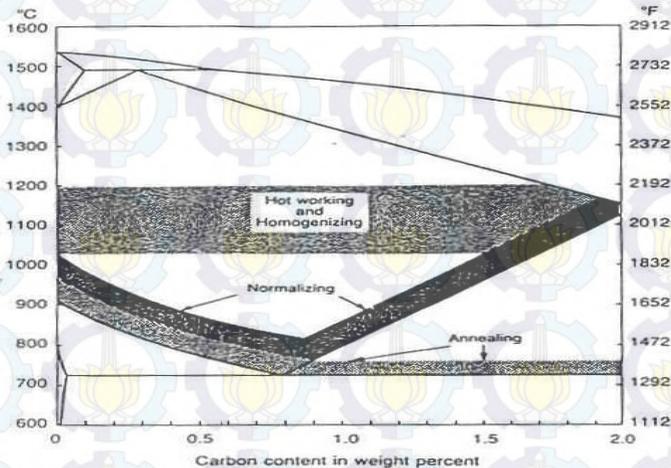
Salah satu laku panas dengan kondisi non-ekuilibrium adalah pengerasan (*hardening*). Pengerasan didefinisikan sebagai salah satu perlakuan panas untuk mendapatkan sifat mekanik berupa kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Pemanasan dilakukan sampai mencapai temperatur austenisasi. Yang dimaksud dengan temperatur austenisasi adalah temperatur dimana struktur mikro yang terbentuk secara keseluruhan adalah austenit. Temperatur yang dianjurkan untuk melakukan pengerasan adalah $25 - 50^{\circ}\text{C}$ di atas temperatur kritis atas A_3 untuk baja *hypoeutectoid* dan $25 - 50^{\circ}\text{C}$ di atas temperatur kritis bawah A_1 untuk baja *hypereutectoid*.

Pemanasan yang dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan austenit dengan butiran yang kasar. Jika didinginkan akan terbentuk struktur yang terlalu getas dan menyimpan tegangan yang besar[8].

2.2.10 Proses Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan baja yang diikuti dengan pendinginan lambat didalam tungku yang dimatikan. Temperatur pemanasan *normalizing*, untuk baja *hypoeutektoid* adalah sekitar sedikit diatas garis A_3 (Gambar 2.8) dan untuk baja *hypereutektoid* adalah sedikit diatas garis A_{cm} (Gambar 2.8). Tujuan dari *normalizing* untuk memperbaiki mampu mesin, mampu bentuk, keuletan, kehomogenan struktur mikro, menghilangkan tegangan dalam.

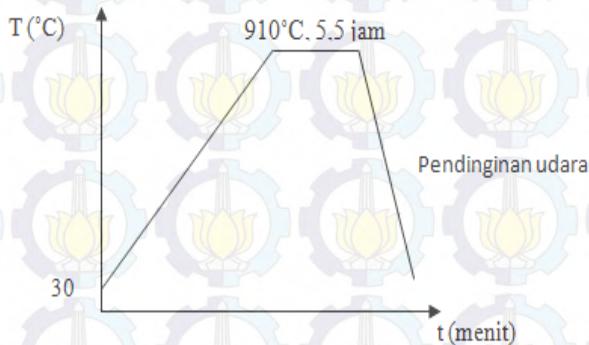
Daerah temperatur pemanasan untuk proses *normalizing* dari diagram fasa Fe-C, dapat dilihat pada gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.16 Daerah temperatur pemanasan untuk proses *normalizing*[7].

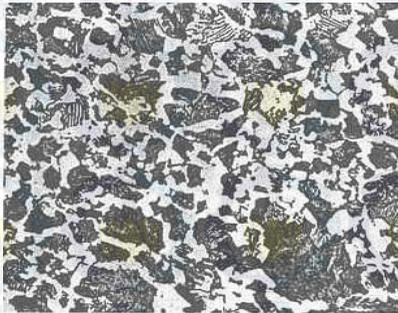
Setelah waktu penahanan pada temperatur austenisasi selesai, kemudian baja didinginkan sampai mencapai temperatur kamar (27°C). Struktur Metalurgi baja *HypoEutektoid* yang dihasilkan terdiri dari ferit dan perlit. Sifat mekanik baja yang dihasilkan setelah proses *normalizing*, tergantung pada laju

pendinginan. Laju pendinginan yang agak cepat akan menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi. Siklus dari temperatur pemanasan dan kecepatan pendinginan dari proses *normalizing* dapat dilihat pada gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.17 Skematik siklus temperatur – waktu dari normalizing[9].

Struktur yang dihasilkan dari proses pemanasan dan pendinginan yang lambat adalah fasa ferit dan fasa perlit.



Gambar 2.18 Struktur mikro baja (AISI 1045) hasil normalizing pada temperatur 900°C terlihat fasa ferit dan perlit[7].

Fasa ferit adalah fasa yang terlihat berwarna terang, fasa ini mempunyai sifat lunak. Sedangkan perlit yang terlihat berwarna gelap adalah lapisan ferit dan sementit, fasa ini mempunyai sifat mampu mesin yang baik. Temperatur pemanasan austenisasi yang semakin tinggi (*super heating*) diatas garis A_3 akan menghasilkan pertumbuhan butir austenit yang semakin besar, sehingga pada saat pendinginan yang lambat akan menghasilkan butir ferit dan perlit yang semakin kasar.

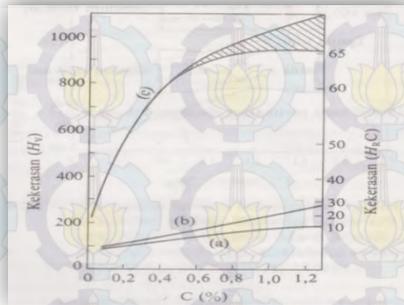
2.2.11 Proses Quench pada Baja

Karakteristik dari material (khususnya baja) yang mengalami proses quench adalah kekerasan yang tinggi dan bersifat getas, karena sebagian besar struktur mikro yang terbentuk adalah martensit. Pada proses quench, material baja dipanaskan ke daerah austenit dan ditahan beberapa saat lalu didinginkan dengan cepat.

Baja ST 41 merupakan baja *hypoeutektoid* yang memiliki temperatur pemanasan sampai pada $820^{\circ} - 870^{\circ}\text{C}$. Ketika baja ini dipanaskan kemudian didinginkan dengan cepat maka pada temperatur yang rendah austenit tidak stabil dan cenderung untuk berubah dari FCC menjadi BCC. Hal ini diakibatkan adanya *driving force* yang menyebabkan terjadinya gaya geser terhadap atom-atom untuk membentuk susunan BCC.

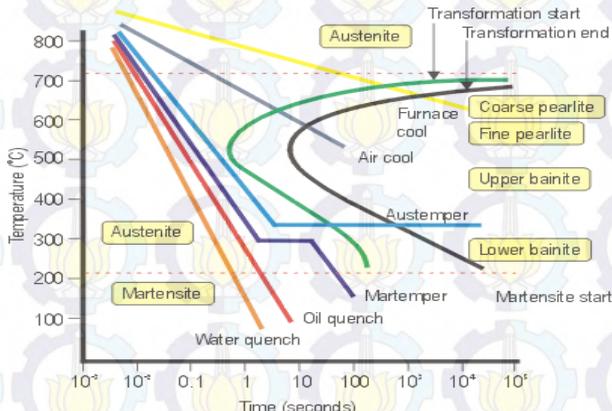
Pada saat proses perubahan ke BCC, austenit masih memiliki banyak karbon yang belum sempat keluar. Karbon yang sudah tidak dapat lagi berdifusi keluar ini mengakibatkan struktur BCC tidak akan tercapai tetapi menghasilkan struktur lain yakni struktur dengan bentuk BCT yang kemudian disebut martensit. Struktur martensit ini mengandung tegangan dalam yang besar dan karenanya menjadi sangat keras. Nilai kekerasan martensit mampu mencapai 65 HRC[5].

Kekerasan martensit dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Hubungan kandungan karbon terhadap kekerasan (a) sementit bulat (b) pearlit dan (c) martensit [5].

Terdapat sejumlah media pendingin yang biasa digunakan dalam proses pendinginan baja, antara lain: air, minyak, campuran minyak dan air, udara, dan garam cair. Laju pendinginan yang terjadi tergantung pada beberapa faktor, diantaranya: jenis media pendingin. Perbandingan laju pendinginan ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Kurva perbandingan media pendingin pada proses quench[8]

Pendinginan yang lebih lambat didahului dengan pembentukan perlit (*fine perlite*), selanjutnya sisa austenit akan bertransformasi menjadi martensit pada temperatur rendah. Struktur mikro yang terbentuk ditunjukkan pada gambar 2.13 (a) namun dapat juga struktur yang terbentuk terdiri dari *fine perlite*, bainit dan martensit (putih) seperti pada gambar 2.21 (b)[11]



(a)

(b)

Gambar 2.21 Struktur mikro pada pendinginan kontinyu (a) fine pearlite (bulat gelap) dan martensit (putih) (b) fine pearlite dengan beberapa bainit dan martensit [4].

2.2.12 Proses Temper Pada Baja

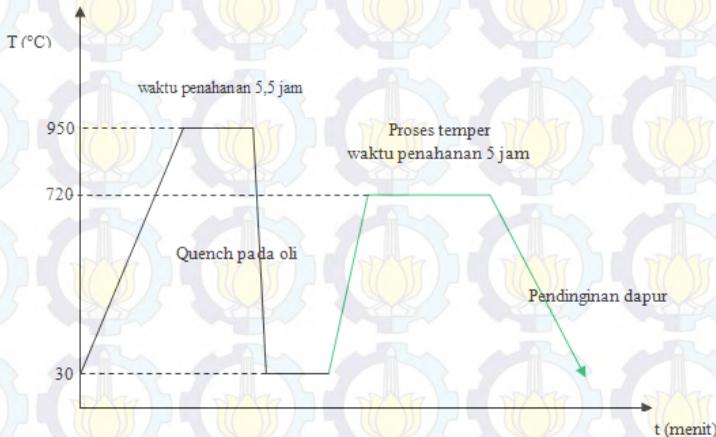
Baja yang dikeraskan dengan proses quench akan memiliki struktur martensit yang tidak hanya sangat keras tetapi juga getas. Dengan memanaskan kembali, martensit pada baja akan bertransformasi menjadi produk yang lebih ulet dan tangguh.

Baja tersebut selain sangat keras dan getas juga banyak menyimpan tegangan sisa yang tinggi, sehingga akan mudah terjadi retak. Dengan memanaskan kembali pada temperatur tertentu, atom-atom akan memperoleh tambahan energi dan akan mulai berdifusi. Pada proses pemanasan temperatur temper ini akan terbentuk struktur BCC, yang terbentuk dengan keluarnya atom karbon dari struktur awal BCT.

Proses temper dilakukan setelah baja diquench, biasanya sebelum baja mencapai temperatur kamar, sekitar 30-50° C. Proses temper dilakukan dengan memanaskan kembali martensit ke suatu temperatur tertentu dan menahannya pada temperatur itu selama beberapa saat lalu didinginkan kembali [7].

2.2.13 Quench-Temper

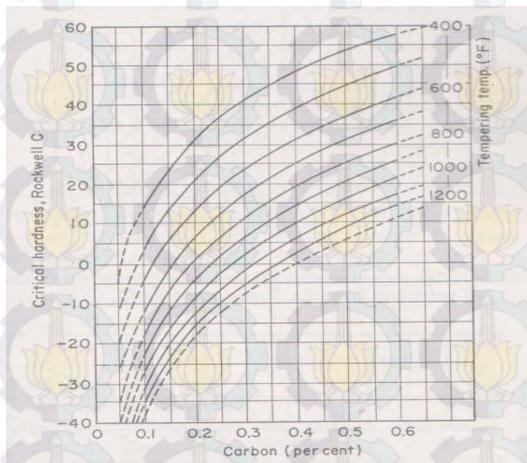
Sesuai gambar 2.20 pada proses temper ini austenit berubah menjadi martensit sebagai hasil dari pendinginan cepat dari temperatur dapur ke temperatur kamar. Resiko yang sering terjadi adalah terjadinya distorsi dan retak akibat perubahan austenit yang terlalu mendadak tanpa berubah terlebih dahulu ke perlit.



Gambar 2.22 Skema proses perlakuan panas quench-temper [7]

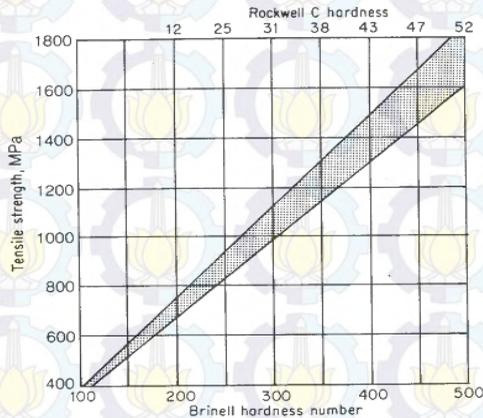
Pada proses ini seringkali menghasilkan struktur mikro yang disebut martensit temper (*tempered martensite*) yang merupakan hasil transformasi dari austenit dan martensit [7]. Tingginya temperatur pemanasan dan lamanya waktu temper (*tempering time*) sangat menentukan nilai kekerasan yang terjadi setelah proses temper. Dengan melakukan temper pada berbagai temperatur akan didapatkan nilai kekerasan material yang berbeda. Kekerasan yang didapat selanjutnya diplot dalam suatu grafik kekerasan-temperatur temper sehingga diperoleh suatu kurva proses temper (*tempering curve*).

Tingginya temperatur pemanasan dan lamanya waktu penahan (*holding time*) sangat menentukan kekerasan yang terjadi setelah proses temper. Gambar 2.23 menunjukkan hubungan antara kekerasan yang terjadi setelah proses temper. Pada gambar juga diperlihatkan kurva kekerasan untuk proses temper dengan berbagai temperatur temper.



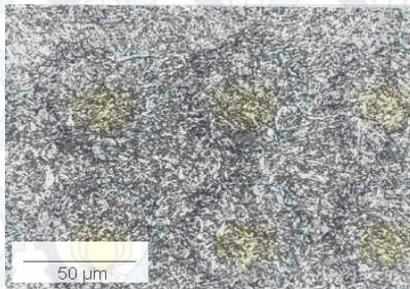
Gambar 2.23 Grafik hubungan kekerasan dengan temperatur temper [4].

Pada baja hasil quench-temperdengannya meningkatnya kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan tarik yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.24 di bawah ini.

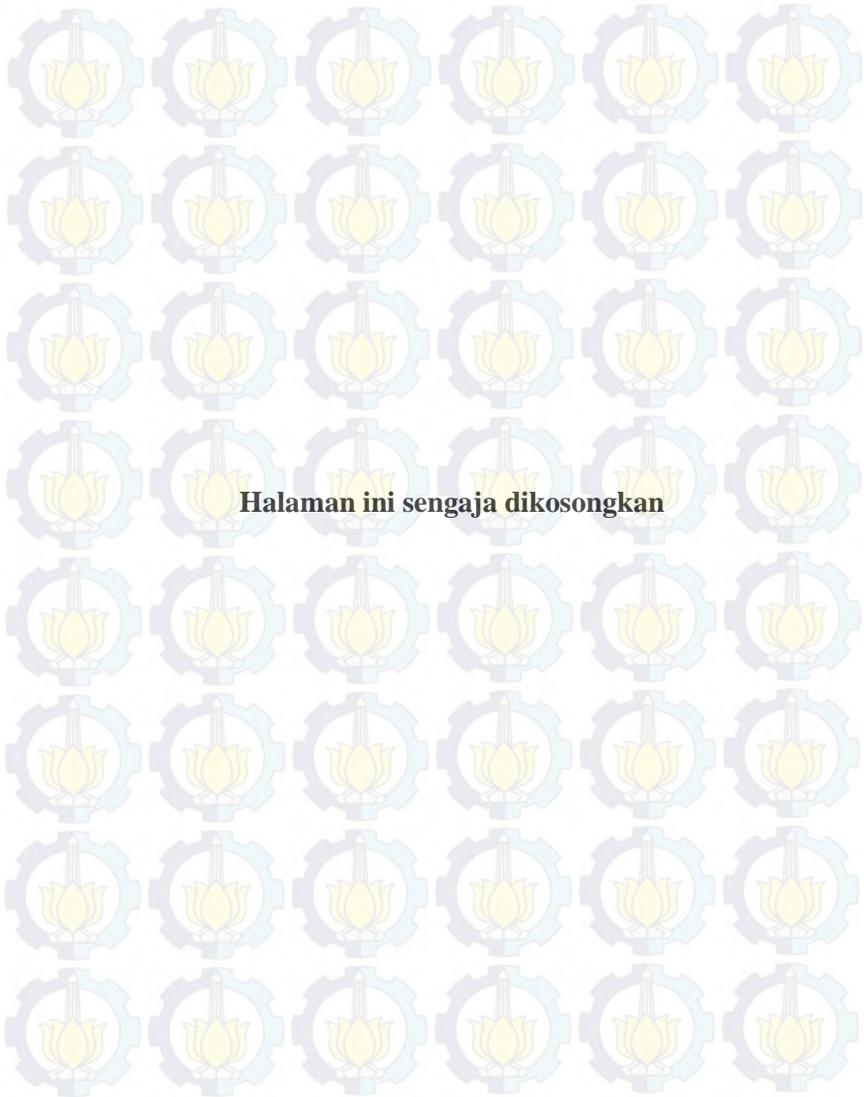


Gambar 2.24 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada baja hasil quench-temper[11].

Perlakuan panas quench yang dilanjutkan dengan perlakuan panas temper dengan temperatur temper yang mencapai 1200-1300°F dapat menghasilkan *martensit temper* yang dapat dilihat pada gambar 2.25 di bawah ini.



Gambar 2.25 Martensit temper dengan matrik ferit[12].



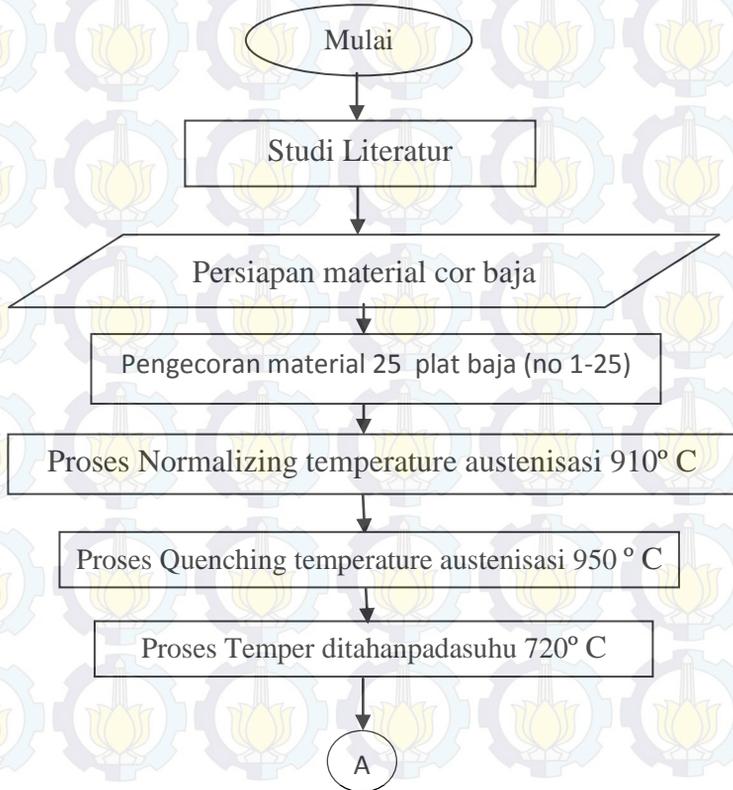
BAB III

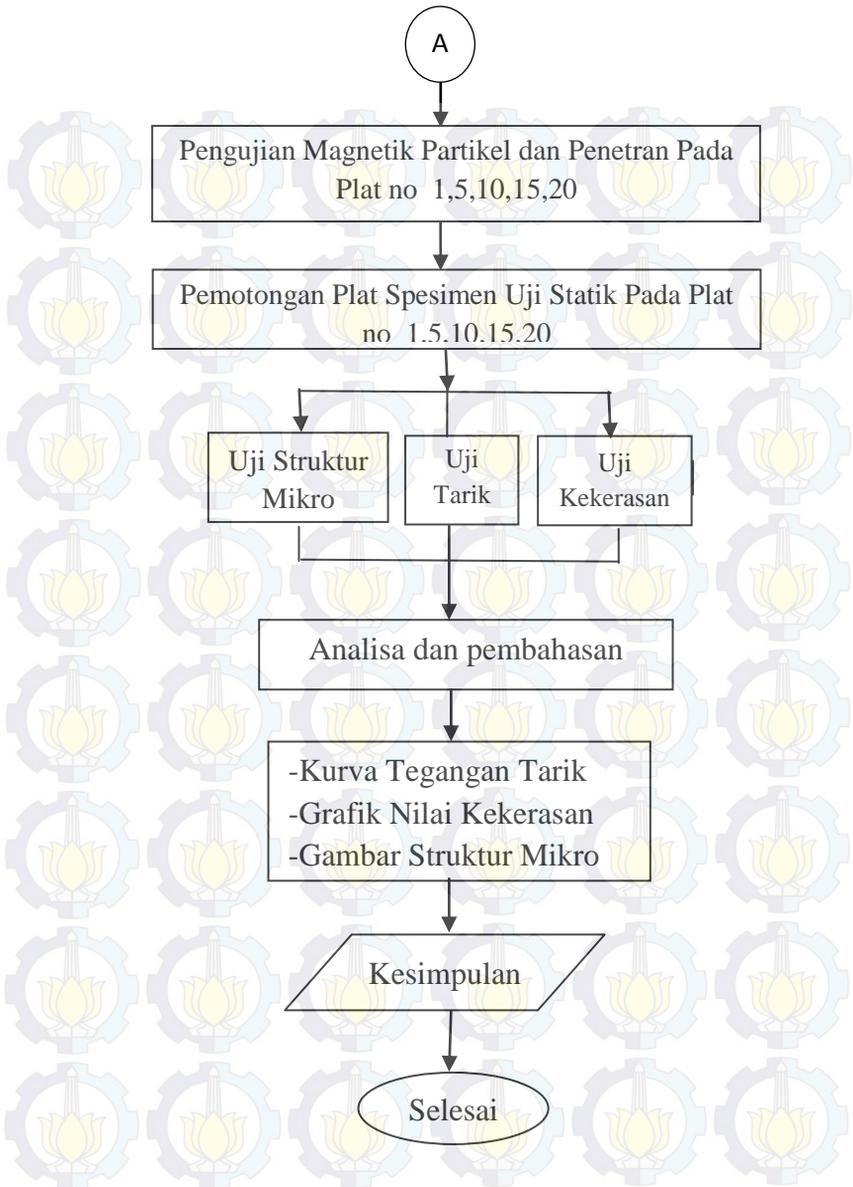
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir adalah urutan dari langkah percobaan yang akan dilakukan pada penelitian, adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1. berikut:

penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1. berikut:

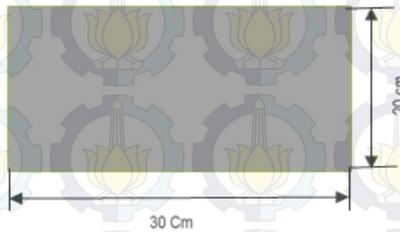




Gambar 3.1 Diagram alir percobaan.

3.2 Material Benda Uji

Benda uji pada penelitian yang digunakan adalah baja, adapun baja tersebut merupakan material untuk pembuatan *inlet casing turbin* uap, berikut adalah spesimen baja ditunjukkan pada gambar 3.2, berdasarkan standarnya baja bahan *inlet casing turbin* G17CrMo9-10 termasuk dalam ASTM 217 WC9 yaitu baja cor untuk penggunaan temperatur tinggi, dengan komposisi paduan utama Mn dan Cr. Komposisi kimia baja turbin ditunjukkan pada tabel 3.1.



Gambar 3.2 Plat hasil pengecoran.

Tabel 3.1 Komposisi kimia standar ASTM 217 WC9 untuk baja temperatur tinggi[6].

Grade Identification Symbol	Composition, %									
	Carbon Molybdenum	Nickel Chromium Molybdenum	Nickel Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum Vanadium	Chromium	Chromium				
WC1	WC4	WC5	WC6	WC9	WC11	C5	C12	C12A	CA15	
Carbon	0.25	0.05-0.20	0.05-0.20	0.05-0.20	0.05-0.18	0.15-0.21	0.20	0.20	0.12	0.15
Manganese	0.50-0.80	0.50-0.80	0.40-0.70	0.50-0.80	0.40-0.70	0.50-0.80	0.40-0.70	0.35-0.65	0.30-0.60	1.00
Phosphorus	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.040
Sulfur	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.015	0.045	0.045	0.018	0.040
Silicon	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.30-0.60	0.75	1.00	0.20-0.50	1.50
Nickel	...	0.70-1.10	0.60-1.00	...	...	...	...	...	0.40	1.00
Chromium	...	0.50-0.80	0.50-0.80	1.00-1.50	2.00-2.75	1.00-1.50	4.00-6.50	8.00-10.00	8.0-9.5	11.5-14.0
Molybdenum	0.45-0.65	0.45-0.65	0.90-1.20	0.45-0.65	0.90-1.20	0.45-0.65	0.45-0.65	0.90-1.20	0.65-1.05	0.50
Columbium	...	...	...	...	...	...	...	...	0.060-0.10	...
Nitrogen	...	...	...	...	...	...	...	...	0.030-0.070	...
				Specified By	Actual Element					
Aluminum	...	...	...	...	0.01	...	...	...	0.040	...
Copper	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35	0.50	0.50	...	...
Nickel	0.50	...	...	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	...	...
Chromium	0.35	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Tungsten	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	...	0.10	0.10	...	...
Vanadium	...	...	...	...	...	0.03	...	...	...	...
Total content of these residual elements	1.00	0.60	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18-0.25	...

Adapun kekuatan tarik rata-rata dari material benda uji, berdasarkan standart ASTM 217 ditunjukkan pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Kekuatan tarik rata-rata baja ASTM 217 WC 9[6].

Grade	Tensile Strength, ksi [MPa]
WC1	65 [450] to 90 [620]
WC4, WC5, WC6, WC9 WC11	70 [485] to 95 [655]
C5, C12	80 [550] to 105 [725]
C12A	90 [620] to 115 [795]
CA15	85 [585] to 110 [760]
	90 [620] to 115 [795]

3.2.1 Proses Pembuatan Spesimen Uji

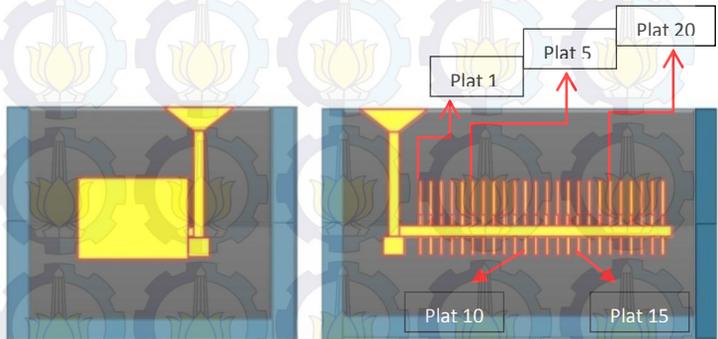
Proses pembuatan spesimen uji adalah sebagai berikut:

(a) Pengecoran 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 skrap
- Dapur : Elektrik Furnace(9,8 KA dan 6000 V)
- Suhu tuang : 1.608° C (Proses melting 4,5 jam)
- Cetakan : Cetakan pasir (*sand casting*)
- Unsur Paduan Utama : Cr, Mo

Berikut adalah gambar desain system saluran pada plat yang akan dicetak pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sistem saluran logam cair pada cetakan pasir

Proses pengecoran dilakukan dengan penggunaan cetakan pasir, dengan bentuk sistem saluran tidak sesuai dengan standart AFS, dimana *runer* pada cetakan tidak didesain bertingkat sehingga menimbulkan perbedaan kecepatan aliran pada saat logam cair masuk ke dalam masing-masing *mould cavity* (rongga cetak) . Pada desain cetakan terdapat 25 rongga cetak yang berbentuk plat dengan ukuran 30 cm x 20 cm. Plat baja cor tersebut akan dijadikan spesimen pengujian statis. Dari proses pengecoran maka akan diperoleh 25 buah plat berdimensi 20 cm x 30 cm, dimana plat-plat tersebut masih tersambung dengan sistem saluran pengecoran.

Plat yang dihasilkan selanjutnya akan mengalami perlakuan panas *normalizing-quench temper*, selanjutnya 5 buah plat yaitu plat dengan 16 no no 1,5,10,15,20 akan dibentuk menjadi spesimen uji statis tarik dan kekerasan. Untuk satu buah plat akan menghasilkan tiga spesimen uji tarik dan satu buah spesimen uji kekerasan. Hasil daripada pengujian ke lima plat akan dibandingkan berdasarkan sifat

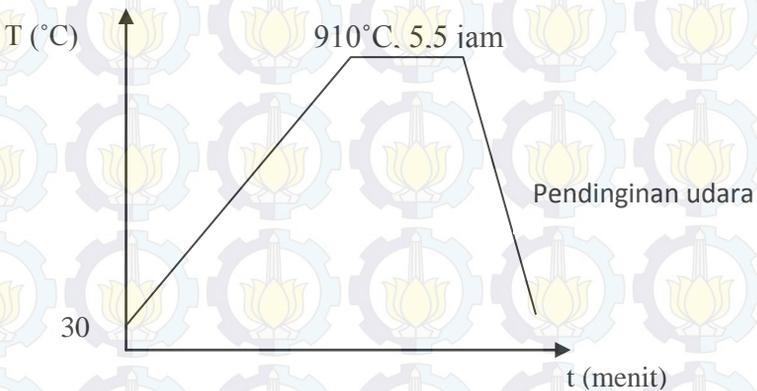
mekanik yang dihasilkan, hal tersebut untuk membuktikan dampak penggunaan runner berpenampang tetap (tidak bertingkat) terhadap sifat mekanik hasil cor.

(b) *Normalizing* Pada Plat

Proses *normalizing* dilakukan pada plat hasil dari pengecoran, setelah proses *normalizing* selesai maka akan dilakukan pemotongan sistem saluranyang 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 *normalizing* pada plat lebih lanjut akan ditunjukkan pada gambar 3.3 sebagai berikut:



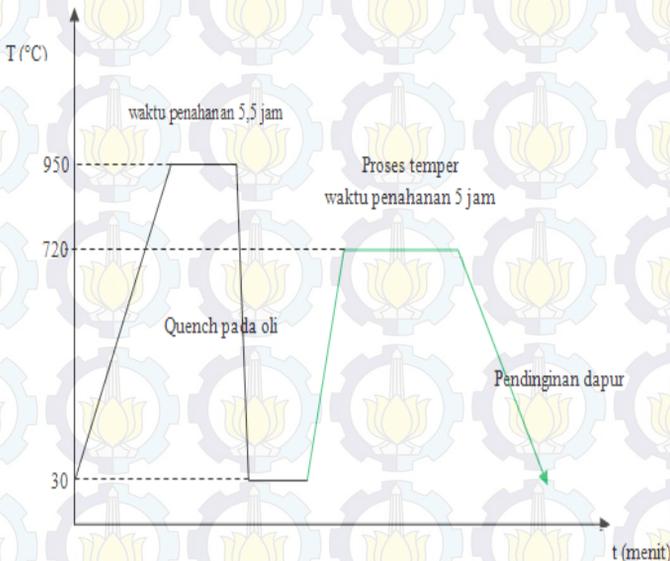
Gambar 3.3 Mekanisme *normalizing*.

(c) *Quenching-Temper Pada Plat*

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

Adapun mekanisme proses *quench-temper* ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut:



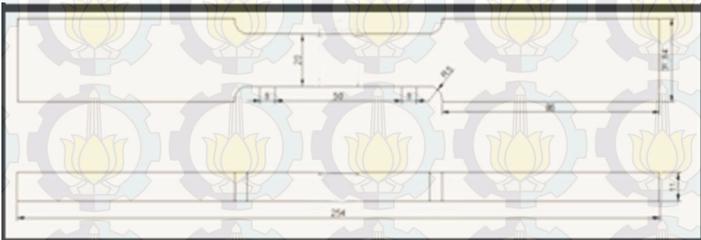
Gambar 3.4 Mekanisme *quench-temper*.

(e) Pembentukan spesimen uji

Plat yang sudah mengalami perlakuan panas dan pengelasan selanjutnya akan dipotong dan dibentuk menjadi beberapa jenis spesimen uji, adapun jenis spesimen uji yang dibentuk sebagai berikut:

- **Spesimen uji tarik**

Pembentukan spesimen uji tarik mengacu pada standart ASTM A488, Dimensi spesimen uji tarik ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Spesimen uji tarik menurut standar ASTM 488[6].

3.3 Peralatan

3.1 Peralatan untuk pembentukan spesimen

Dalam proses pembuatan spesimen diperlukan peralatan sebagai berikut:

- Mesin sekrup
- Gerinda tangan
- Gerinda potong
- Penggaris
- Jangka sorong
- Kamera digital

3.2 Peralatan uji

Adapun peralatan uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Mesin uji tarik *Wolpert*
- Mesin uji kekerasan
- Mikroskop
- Cawan kaca
- Mesin uji spektro
- Nital 5% dan alumina
- Kertas gosok
- Kain bludru
- Mesin Grinding dan polishing.

3.4 Langkah-Langkah Pengujian

Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengujian komposisi kimia hasil cor, pengujian kekerasan, pengujian tarik, struktur mikro. Hasil daripada pengujian spesimen awal dengan spesimen hasil perlakuan panas akan dibandingkan. Berikut adalah proses dari masing-masing pengujian yang akan dilakukan:

3.4.1 Pengujian komposisi kimia (Spektro)

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa komposisi kimia hasil cor sudah memenuhi standar komposisi material untuk bahan *inlet casing* turbin. Adapun standar acuan material *inlet casing* turbin adalah ASTM A217 WC 9. Pengujian dilakukan pada mesin uji spektro *Foundy Master Pro*. Dari uji ini akan didapatkan kandungan unsur dan jumlahnya secara terperinci sesuai dengan standar ASTM A217 WC9. Pengujian ini dilakukan berulang kali sampai komposisi kimia hasil cor sesuai dengan standar.

Berikut adalah gambar mesin uji spektro ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin uji spektro.

Adapun tabulasi data perencanaan eksperimen untuk hasil uji spektro ditunjukkan pada tabel 3.3 sebagai berikut.

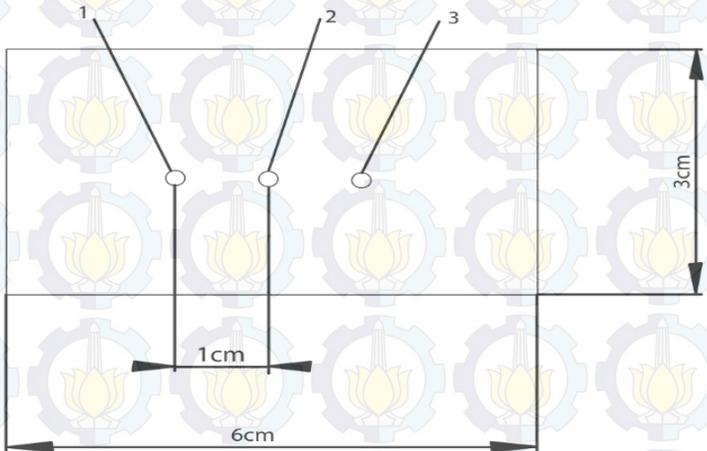
Tabel 3.3 Rancangan penyajian data hasil uji spektro.

Nama unsur	Jumlah kandungan %
Carbon (C)	
Mangan (Mn)	
Cromium (Cr)	
Molybdenum (Mo)	
Cuprum (Cu)	
Nikel (Ni)	
Aluminium (Al)	
Sulfur (S)	
Titanium (Ti)	
Phospor (P)	
Silikon (Si)	

3.4.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan digital *Future Tech*. Sebelum dilakukan pengujian kekerasan maka spesimen digrinding terlebih dahulu untuk memeperhalus dan meratakan permukaan uji. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dan diambil harga rata-rata dari pengujian tersebut, pengujian ini menggunakan ukuran kekerasan HRC dengan antar identasi berjarak 1 cm pada masing-masing material.

Penampang identasi dan penyajian data hasil uji kekerasan pada material uji ditunjukkan pada gambar 3.7 dan tabel 3.4 berikut.



Gambar 3.7 Spesimen uji kekerasan.

Tabel 3.4 Tabel hasil uji statik kekerasan.

Nomor Material uji (no urut plat)	NILAI KEKERASAN (HRC)			NILAI KEKERASAN RATA-RATA (HRC)
	1	2	3	
1				
5				
10				
15				
20				

3.4.3 Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan pada mesin uji Woolpert Machine tipe TUZ 750 dengan kapasitas 300 KN yang berada di laboratorium Metallurgi Teknik Mesin ITS. Adapun tujuannya adalah:

- Mendapatkan tegangan ultimate yang akan digunakan dalam pembebanan pada mesin uji lelah *reversed bending*.
- Menentukan beban yang akan dipakai dalam percobaan uji lelah.

Uji tarik yang dilakukan akan dijadikan acuan pembebanan pada uji lelah beserta pengujian statik lain seperti uji kekerasan dan struktur mikro, adapun rancangan tabel pengujian tarik ditunjukkan pada tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Tabel hasil uji tarik.

No Kode Plat	SPESIFIKASI SAMPEL			HASIL UJI TARIK	
	LEBAR (mm)	TEBAL (mm)	LUAS PENAMPANG (mm ²)	TENSILE STRENGTH (Mpa)	KETERANGAN LOKASI PATAH
	Rata-rata				

3.4.4 Pengujian Magnetik Partikel dan Penetran

Pengujian tidak merusak yang akan digunakan adalah magnetik partikel, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah pada hasil cor terdapat cacat, untuk pengujian magnetik partikel dilakukan dengan magnetisasi selama 20 menit untuk masing-masing plat, selanjutnya partikel serbuk logam disemprotkan pada plat yang telah dimagnetisasi. Pengujian tidak merusak ke dua yang akan dilakukan adalah liquid penetran, pengujian dilakukan dengan menyemprotkan penetran yang kemudian dilanjutkan dengan penyemprotan

solvent pada plat dengan tempo waktu tertentu setelah penetrasi disemprotkan. Pengujian magnetik partikel dan liquid penetrasi dilakukan pada kedua permukaan plat. Hasil dari pengujian ini diharapkan mampu menunjukkan cacat pada hasil coran.

3.4.5 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro spesimen baja turbin sebelum dan sesudah pengujian kelelahan diuji metalografi untuk mendapatkan gambar struktur mikronya. Adapun tahapan dalam metalografi yaitu:

1. Proses Gerinda (*Grinding*)

Proses gerinda bertujuan untuk menghaluskan permukaan material setelah proses pemotongan. Proses ini memanfaatkan gesekan permukaan kertas gosok dengan material. Kertas gosok yang digunakan merupakan permukaan kasar silikon karbid yang bervariasi.

2. Proses Poles (*Polishing*)

Proses poles dilakukan untuk mendapatkan permukaan spesimen yang mengkilap sehingga mampu memantulkan cahaya dari mikroskop optis. Proses poles dilakukan dengan menggosokkan material pada kain wol yang ditaburi dengan serbuk alumina. Gambar 3.8 menunjukkan alat untuk proses gerinda dan proses poles material.



Gambar 3.8 Mesin gerinda untuk proses gerinda dan poles.

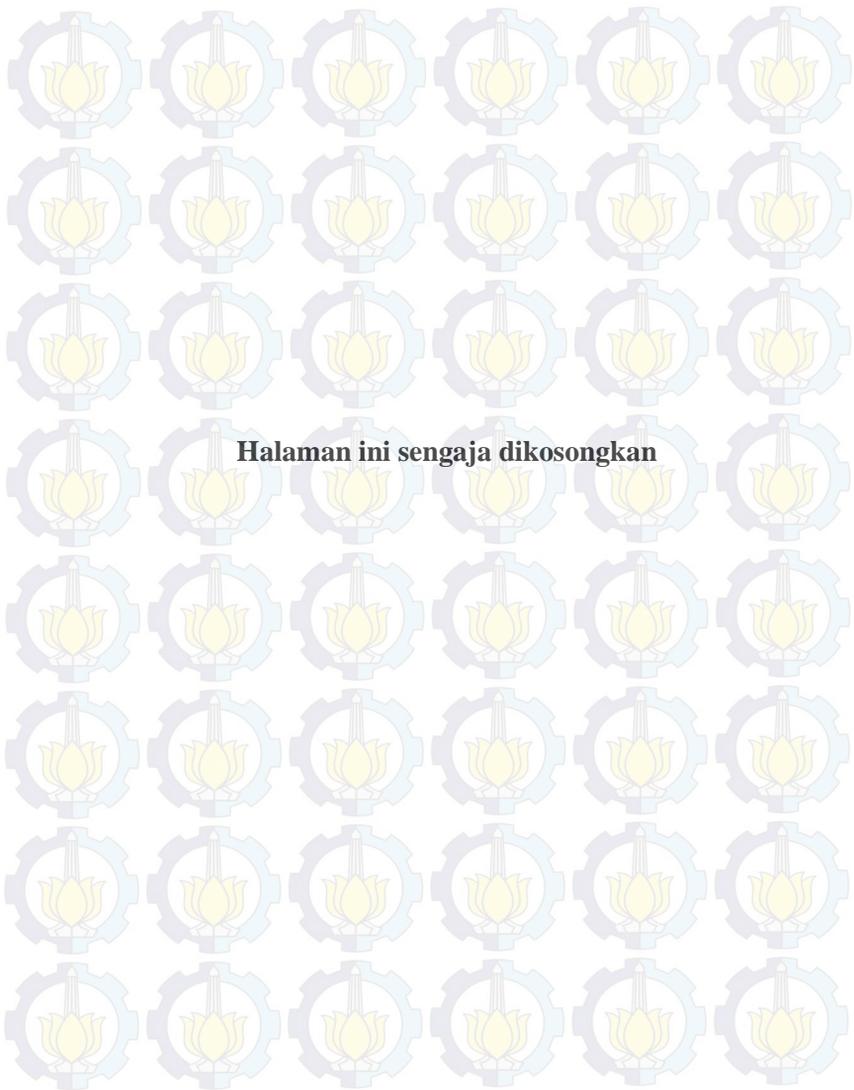
3. Etsa (*Etching*)

Tujuan dari etsa adalah untuk mendapatkan permukaan yang dapat diamati dengan mikroskop optis. Pada dasarnya mengetsa adalah proses korosi yang dikendalikan sehingga menghasilkan kontur permukaan yang bervariasi. Kontur permukaan yang bervariasi ini disebabkan karena perbedaan laju korosi struktur mikro yang terdapat pada material.

Etsa dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam cairan etsa (*etching reagent*) tertentu selama beberapa detik. Adapun *etching reagent* yang digunakan adalah 5% nital selama 2-4 detik. Larutan ini dipakai karena memiliki kemampuan baik untuk menunjukkan struktur martensit

4. Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optis.

Setelah dilakukan etsa, material dapat diamati struktur mikronya dengan menggunakan mikroskop optis. Pengambilan gambar dilakukan dengan memanfaatkan pantulan cahaya dari benda kerja, di mana kontur permukaan yang bervariasi akan memantulkan intensitas yang berbeda. Intensitas yang berbeda menyebabkan adanya warna gelap terang yang mampu ditangkap mata. Pengamatan struktur mikro pada spesimen dilakukan dengan cara pengambilan gambar dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan komputer sehingga mampu menangkap gambar secara digital. Spesimen yang telah di etsa, dikeringkan baru kemudian di foto dengan perbesaran 10 dan 50 X.



BAB IV

DATA HASIL PERCOBAAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Dari pengujian yang telah dilakukan yaitu meliputi pengujian tarik, kekerasan struktur mikro dan pengujian tidak merusak (penetrant) didapatkan hasil sebagai berikut:

- **Data Hasil Uji Spektro**

Adapun data hasil uji spektro ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil kandungan unsur pada baja G17CrMo9-10

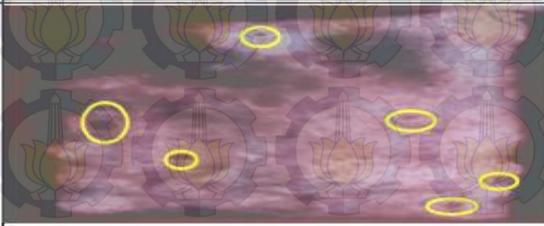
Nama unsur	Jumlah kandungan %	Standar kandungan unsur penyusun baja G17CrMo9-10 menurut ASTM 217-WC 9
Carbon (C)	0,201	0.13 - 0.20
Mangan (Mn)	0,721	0.50 - 0.90
Cromium (Cr)	2,182	2.00 - 2.50
Molybdenum (Mo)	0.959	0.90 - 1.20
Cuprum (Cu)	0,058	(0.3 – MAX)
Nikel (Ni)	0,244	(0.5 – MAX)
Almunium (Al)	0.080	(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)

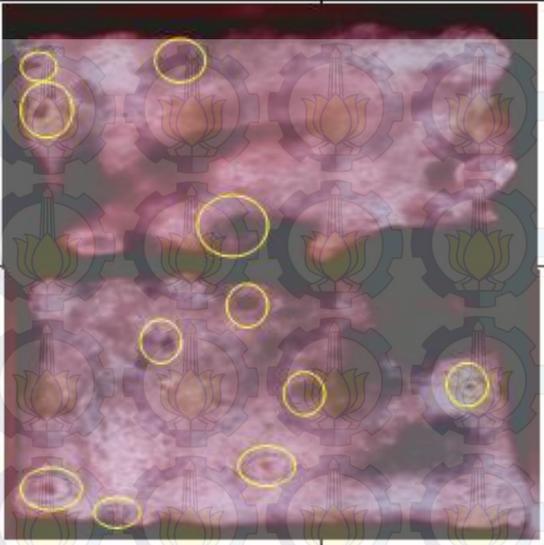
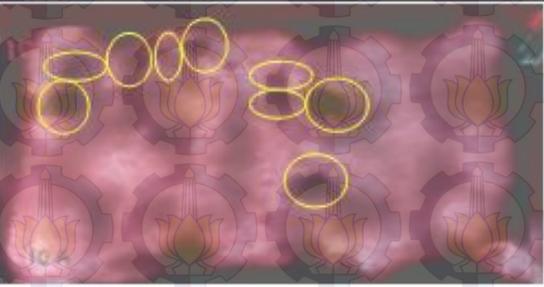
Dari hasil yang telah didapatkan menggambarkan bahwa dalam proses peleburan baja G17CrMo9-10 jumlah unsur paduan yang digunakan telah memenuhi standar prosedur yang telah ditentukan oleh perusahaan ataupun standar berdasarkan ASTM 217 WC9 untuk baja yang digunakan pada lingkungan korosif dan bertemperatur tinggi. Berdasarkan jumlah unsur paduan yang ada, maka baja G17CrMo9-10 termasuk baja paduan.

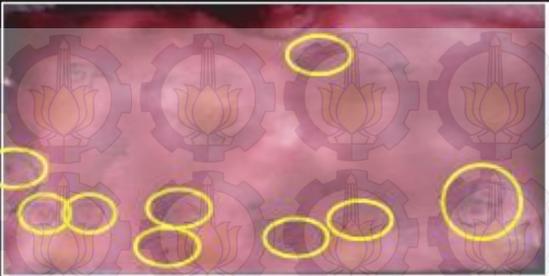
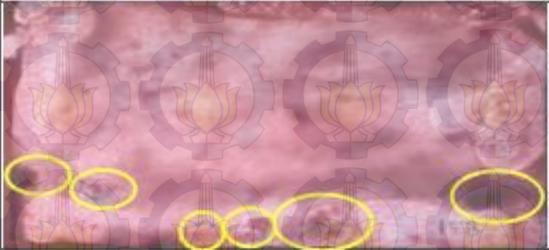
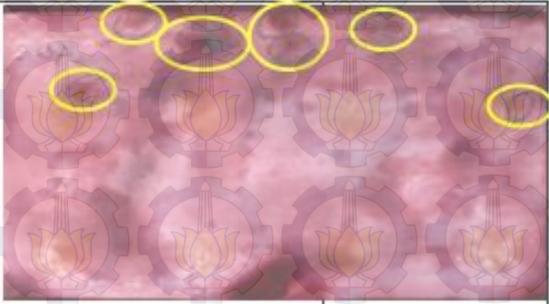
- **Data Hasil Uji tidak Merusak(Liquid Penetrant)**

Pengujian ini digunakan untuk menentukan berapa besar cacat awal pada plat hasil cor sebelum diproses menjadi spesimen uji tarik dan kekerasan. Dengan demikian dapat diperkirakan nilai kekuatan ataupun kekerasan dari masing-masing spesimen dengan melihat jumlah cacat pada plat hasil coran. Berikut adalah hasil pengamatan uji tidak merusak pada plat baja G17CrMo9-10 ditunjukkan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Gambar cacat pada plat hasil uji *liquid penetrant*.

No Urut Plat	Jumlah cacat pada permukaan (cacat/600mm ²)	Posisi letak cacat pada plat
1	Permukaan atas ada 5 cacat	
1	Permukaan bawah ada 6 cacat	

5	<p>Permukaan atas ada 4 cacat</p>	
	<p>Permukaan bawah ada 7 cacat</p>	
10	<p>Permukaan atas ada 9 cacat</p>	
	<p>Permukaan bawah ada 5 cacat</p>	

15	Permukaan atas ada 10 cacat	
	Permukaan bawah ada 9 cacat	
20	Permukaan atas ada 9 cacat	
	Permukaan bawah ada 11 cacat	

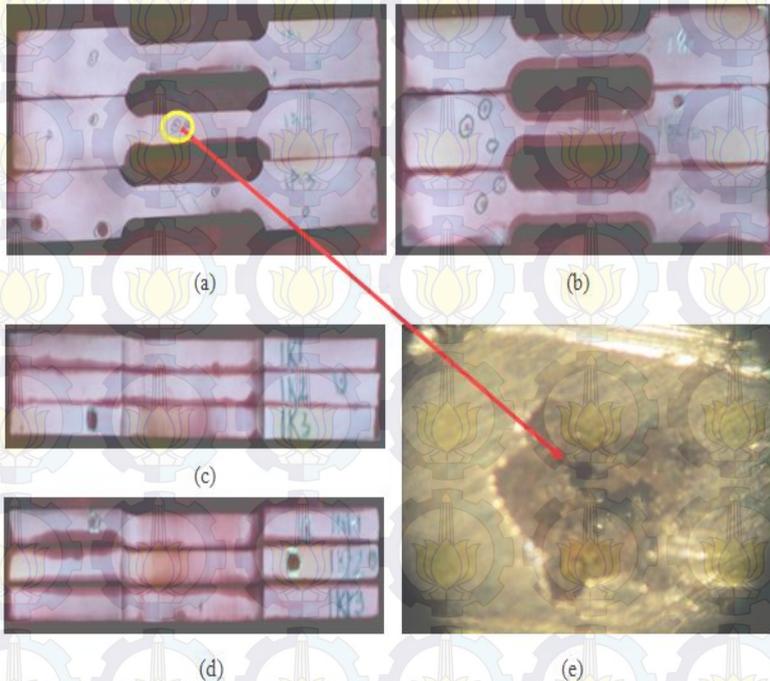
Dari hasil pengamatan plat pada permukaan atas dan permukaan bawah plat didapatkan hasil cacat seperti pada tabel 4.2 diatas. Untuk plat ke 1 jumlah cacat yang ada yaitu terdapat 10 cacat , untuk plat ke 5 ada 11 cacat, untuk plat ke 10 ada 14 cacat, untuk plat ke 15 terdapat 19 cacat dan untuk plat ke 20 didapatkan 20 cacat. Sebagian besar cacat yang terjadi adalah adalah porositas yang mengarah ke dalam, seperti kaviti. Adanya cacat tersebut akan mempengaruhi kekuatan tarik ataupun nilai kekerasan dari spesimen. Dimana ketika ada cacat pada bagian pengujian maka dapat dipastikan akan terjadi penurunan sifat mekanik. Adanya jumlah cacat pada setiap plat yang berbeda-beda nilainya, bisa diakibatkan oleh adanya parameter perbedaan kecepatan aliran logam cair pada masing-masing plat ketika proses pengecoran terjadi.

Plat dengan nomer urut terbesar terletak paling jauh dari basin, sehingga dipastikan kecepatan aliran logam cair saat memasuki rongga cetak plat ke 20 memiliki kecepatan aliran paling rendah, dan paling rentan terjadi cacat akibat pembekuan yang cepat. Sementara untuk plat ke1 terletak paling dekat dengan basin, sehingga pasti terisi terlebih dahulu dibandingkan dengan plat yang lain. Resiko terjadinya pembekuan cepat lebih kecil pada plat ke 1. Karena letaknya yang paling dekat dengan basin sehingga perpindahan panas yang terjadi dari logam ke lingkungan belum begitu besar.

Setelah plat mengalami uji NDT selanjutnya plat akan dikenai proses permesinan untuk dijadikan spesimen uji tarik, adanya proses permesinan ini memungkinkan terjadi cacat baru yang timbul, bisa juga menghilangkan cacat permukaan sebelumnya. Cacat baru yang terlihat setelah proses permesinan adalah cacat yang berada pada bagian dalam plat. Sehingga ketika dilakukan uji penetrant pada plat cacat tersebut tidak terlihat. Setelah proses permesinan sebagian permukaan akan di sekrap sedalam 2 mm baik dari sisi kiri ataupun sisi kanan. Jika pada kedalaman 2 mm dari permukaan plat terdapat cacat *subsurface*

maka pasti akan terlihat . Sehingga perlu diadakan pengujian tidak merusak yang kedua kalinya untuk mengetahui jumlah cacat yang baru setelah plat di proses menjadi spesimen uji tarik

Hasil pengujian tidak merusak untuk plat yang telah mengalami proses permesinan menjadi spesimen uji tarik akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 . (a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat porositas pada permukaan perbesaran 50x.

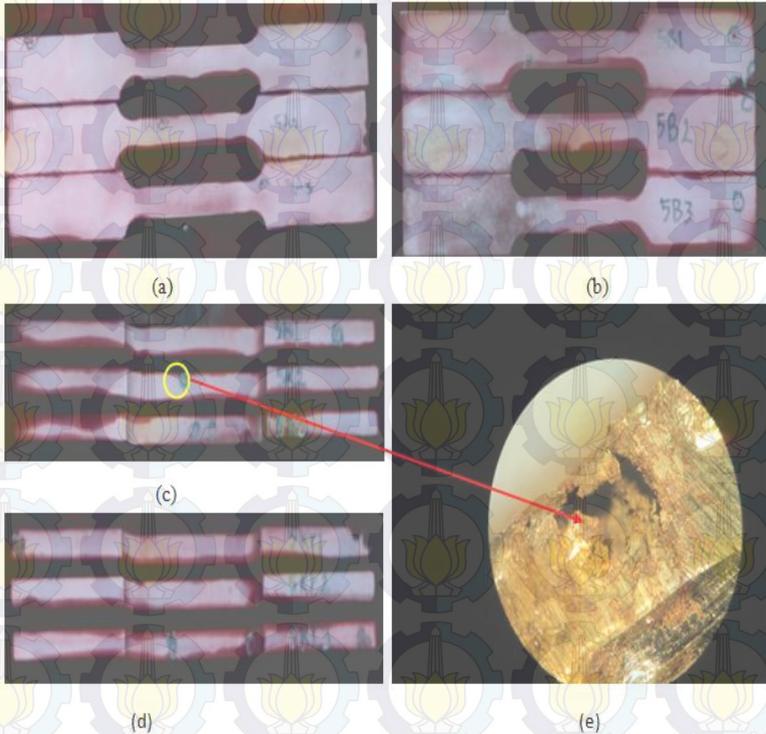
Adapun jumlah cacat pada spesimen tarik hasil permesinan plat ke 1 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Jumlah cacat pada spesimen 1A,1B,1C

Kode Spesimen	Letak Cacat Permukaan	Jumlah Cacat	Letak cacat pada		Jumlah total cacat	
			Gauge length	Handel	Pada spesimen	Pada plat kode 1
1A	Atas	5	2	3	7	30
	Bawah	0	0	0		
	Kanan	0	0	0		
	Kiri	2	0	2		
1B	Atas	6	2	4	14	30 (kontinyu)
	bawah	5	0	5		
	Kanan	1	0	1		
	Kiri	2	0	2		
1C	Atas	6	1	5	9	
	bawah	2	0	2		
	Kanan	1	0	1		
	Kiri	0	0	0		

Dari tabel diatas didapatkan bahwa untuk spesimen tarik yang dibuat dari bahan plat ke-1 didapatkan cacat total untuk spesimen 1A, 1B dan 1C masing-masing 7, 14 dan 9 cacat. Dimana ketiga spesimen tersebut dibuat dari plat dengan kode nomer 1. Sehingga ketika jumlah cacat dari ketiga spesimen dikalkulasikan maka secara langsung menyatakan jumlah cacat total pada plat berkode nomer 1 yaitu sebanyak 30 cacat. Cacat ini bertambah dibandingkan dengan jumlah cacat pada plat sebelum mengalami proses permesinan. Hal ini menggambarkan bahwa masih ada cacat yang letaknya berada di subsurface sehingga memungkinkan jumlah cacat yang diketahui bertambah banyak ketika spesimen sudah melewati proses permesinan, hal ini juga berlaku untuk spesimen yang lain yang berasal dari plat ke-5, 10, 15, 20.

Berikut adalah hasil uji tidak merusak untuk spesimen 5A, 5B dan 5C yang dibuat dari plat berkode nomer 5, ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 (a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat porositas pada permukaan perbesaran 50x.

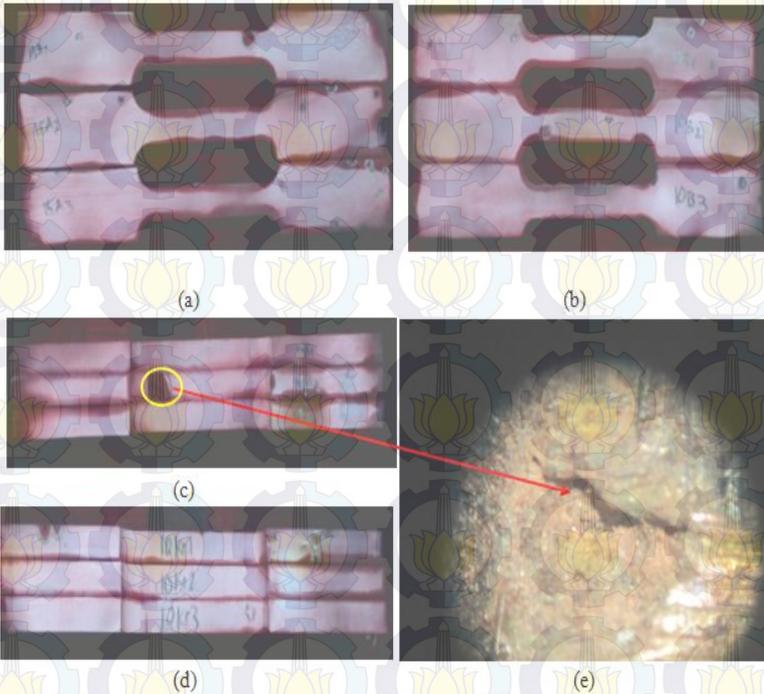
Adapun tabulasi cacat pada plat nomer 5 ditunjukkan pada table 4.4 berikut:

Tabel 4.4 jumlah cacat pada spesimen 5A,5B,5C

Kode Spesimen	Letak Cacat Permukaan	Jumlah Cacat	Letak cacat pada		Jumlah total cacat	
			Gauge length	Handel (pemegang)	Pada spesimen	Pada plat kode 5
5A	Atas	3	0	3	13	27
	Bawah	5	1	4		
	Kanan	1	0	1		
	Kiri	4	0	4		
5B	Atas	2	1	1	4	
	Bawah	1	0	1		
	Kanan	1	1	0		
	Kiri	0	0	0		
5C	Atas	1	0	1	10	
	Bawah	1	0	1		
	Kanan	2	2	0		
	Kiri	6	3	3		

Dari tabel 4.4 didapatkan bahwa untuk spesimen tarik yang dibuat dari bahan plat ke-5 didapatkan cacat total untuk spesimen 5A, 5B dan 5C masing-masing 13, 4 dan 10 cacat. Dimana ketiga spesimen tersebut dibuat dari plat dengan kode nomer 5. Sehingga ketika jumlah cacat dari ketiga spesimen dikalkulasikan maka secara langsung menyatakan jumlah cacat total pada plat berkode nomer 5 yaitu sebanyak 27 cacat. Cacat ini bertambah.

Berikut adalah gambar hasil uji tidak merusak untuk spesimen tarik berkode nomer 10A, 10B, 10C ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 . (a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat crack pada permukaan perbesaran 50x.

Penjelasan mengenai letak cacat pada gambar 4.3 akan dirinci pada tabel 4.5, tabel yang menggambarkan jumlah dan posisi cacat pada spesimen uji tarik 10A, 10B, 10C.

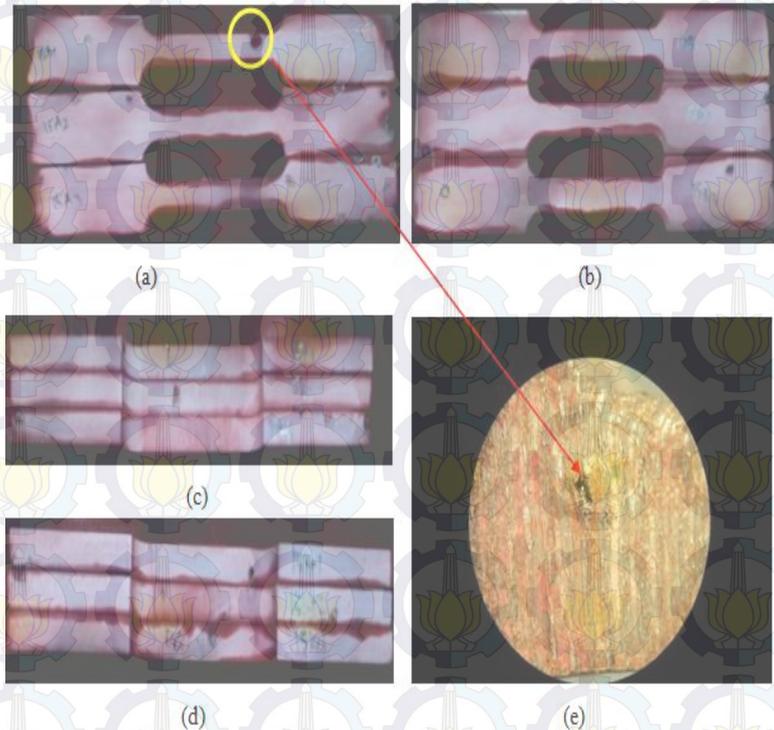
Berikut adalah tabel 4.5 yang merinci dan menjelaskan cacat yang ada pada spesimen uji tarik hasil permesinan dari plat berkode nomer 10.

Tabel 4.5 jumlah cacat pada spesimen 10A,10B,10C.

Kode Spesimen	Letak Cacat Permukaan	Jumlah Cacat	Letak cacat pada		Jumlah total cacat	
			Gauge length	Handel (pemegang)	Pada spesimen	Pada plat kode 10
10A	Atas	6	2	4	18	31
	Bawah	5	0	5		
	Kanan	0	0	0		
	Kiri	7	0	7		
10B	Atas	1	1	0	6	
	Bawah	2	0	2		
	Kanan	3	2	1		
	Kiri	0	0	0		
10C	Atas	3	0	3	7	
	Bawah	2	0	2		
	Kanan	1	1	0		
	Kiri	1	1	0		

Dari tabel 4.4 didapatkan bahwa untuk spesimen tarik yang dibuat dari bahan plat ke-10, didapatkan cacat total untuk spesimen 10A, 10B dan 10C masing-masing 18, 6 dan 7 cacat. Dimana ketiga spesimen tersebut dibuat dari plat dengan kode nomer 10. Sehingga ketika jumlah cacat dari ketiga spesimen dikalkulasikan maka secara langsung menyatakan jumlah cacat total pada plat berkode nomer 10 yaitu sebanyak 31 cacat. Berdasarkan hasil uji kekuatan tarik rata-rata spesimen 10 lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tarik rata-rata spesimen 1 dan spesimen 5. Hal tersebut bisa dikarenakan jumlah cacat yang ada pada masing-masing spesimen. Jumlah cacat untuk spesimen berkode nomer 10 lebih banyak dibandingkan dengan jumlah cacat pada plat yang lain

Berikut adalah hasil uji tidak merusak untuk spesimen 15A, 15B dan 15C yang dibuat dari plat berkode nomer 15, ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 . (a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat porositas permukaan perbesaran 50x.

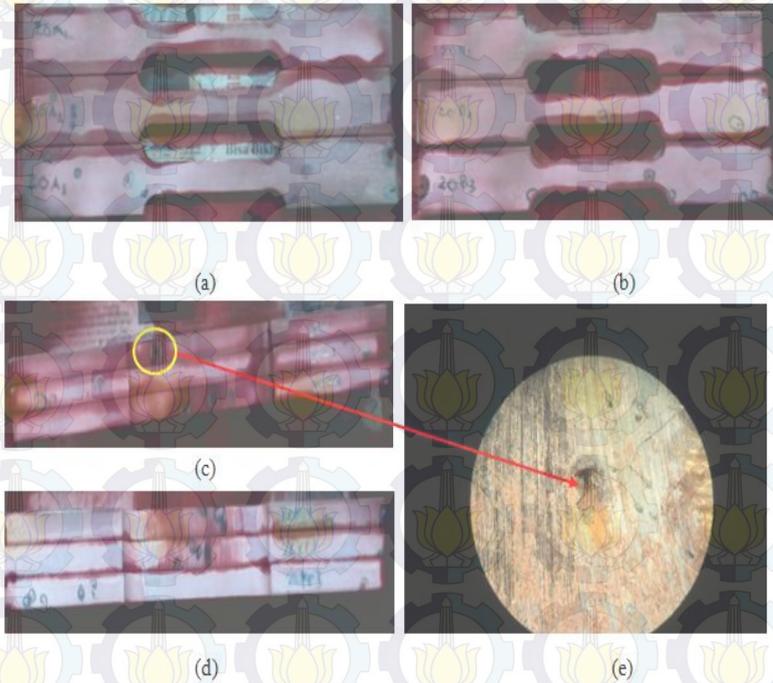
Adapun jumlah dan letak cacat pada spesimen tarik dapat dijelaskan melalui tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 jumlah cacat pada spesimen 15A,15B,15C.

Kode Spesimen	Letak Cacat Permukaan	Jumlah Cacat	Letak cacat pada		Jumlah total cacat	
			Gauge length	Handel (pemegang)	Pada spesimen	Pada plat kode 15
15A	Atas	3	1	2	9	40
	Bawah	2	1	1		
	Kanan	1	1	0		
	Kiri	3	1	2		
15B	Atas	6	0	6	12	
	Bawah	2	0	2		
	Kanan	1	1	0		
	Kiri	3	1	2		
15C	Atas	10	0	10	19	
	Bawah	3	0	3		
	Kanan	3	0	3		
	Kiri	3	3	0		

Dari tabel 4.4 didapatkan bahwa untuk spesimen tarik yang dibuat dari bahan plat ke-15, didapatkan cacat total untuk spesimen 15A, 15B dan 15C masing-masing 9, 12 dan 19 cacat. Dimana ketiga spesimen tersebut dibuat dari plat dengan kode nomer 15. Sehingga ketika jumlah cacat dari ketiga spesimen dikalkulasikan maka secara langsung menyatakan jumlah cacat total pada plat berkode nomer 15 yaitu sebanyak 40 cacat.

Berikut adalah gambar hasil uji tidak merusak untuk spesimen tarik berkode nomer 20A, 20B, 20C.



Gambar 4.5 . (a) permukaan bagian atas , (b) permukaan bagian bawah , (c) permukaan samping kanan , (d) permukaan samping kiri, (e) cacat porositas pada permukaan perbesaran 50x.

Adapun jumlah dan letak cacat pada spesimen tarik dapat dijelaskan melalui tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 jumlah cacat pada spesimen 20A,20B ,20C.

Kode Spesimen	Letak Cacat Permukaan	Jumlah Cacat	Letak cacat pada		Jumlah total cacat	
			Gaugge length	Handel	Pada spesimen	Pada plat kode 15
20A	atas	3	1	2	11	57
	bawah	2	0	2		
	kanan	1	1	0		
	kiri	5	3	2		
20B	atas	6	1	5	19	
	bawah	4	1	3		
	kanan	4	0	4		
	kiri	5	2	1		
20C	atas	9	0	9	27	
	bawah	7	1	6		
	kanan	4	3	1		
	kiri	7	0	7		

Dari tabel 4.7 didapatkan bahwa untuk spesimen tarik yang dibuat dari bahan plat ke-20, didapatkan cacat total untuk spesimen 20A, 20B dan 20C masing-masing 11, 19 dan 27 cacat. Dimana ketiga spesimen tersebut dibuat dari plat dengan kode nomer 20. Sehingga ketika jumlah cacat dari ketiga spesimen dikalkulasikan maka secara langsung menyatakan jumlah cacat total pada plat berkode nomer 20 yaitu sebanyak 57 cacat. Cacat pada spesimen dengan kode nomer 20 paling banyak dibandingkan dengan jumlah cacat pada spesimen yang lain. Hasil perbandingan nilai rata-rata kekuatan tarik pada spesimen tarik hasil permesinan dari plat ke-20 mempunyai nilai paling kecil dibandingkan dengan yang lain. Hal ini mendukung hipotesa bahwa penggunaan pengalir berpenampang tetap akan mempengaruhi hasil coran, semakin jauh jarak benda cor dari basin maka akan semakin banyak cacat. Tentunya hal ini hanya berlaku jika pengecoran menggunakan pengalir berpenampang tetap

- **Hasil Uji Tarik**

Plat yang telah di uji dengan penetrant diproses menjadi spesimen uji dengan nomer kode sesuai nomer kode plat. Berikut adalah hasil uji tarik ditunjukkan pada tabel 4.8.

4.8 Hasil uji tarik spesimen 1,5,10,15,20.

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	30	578,65	599,79
	B	2	12		601,14	
	C	1	8		619,58	
5	A	1	12	27	612,61	618,51
	B	2	2		594,52	
	C	5	5		648,40	
10	A	2	16	31	554,78	594,19
	B	3	3		594,90	
	C	2	5		632,91	
15	A	4	5	40	587,83	619,82
	B	2	10		638,84	
	C	3	16		632,79	
20	A	5	6	57	565,55	582,63
	B	4	15		591,11	
	C	4	23		591,23	

Dari hasil uji yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa nilai rata-rata kekerasan paling tinggi yaitu pada plat dengan nomer kode 15 yaitu sebesar 619,82 Mpa sedangkan nilai terendah yaitu pada plat nomer 20 yaitu sebesar 582,63 Mpa.

Secara teori hasil yang didapatkan seharusnya pada plat ke-1 yang mempunyai jumlah cacat paling kecil mempunyai kekuatan tarik terbesar. Tetapi hasil yang didapatkan berbeda. Hal tersebut dapat diakibatkan karena proses pembentukan spesimen yang dilakukan pada plat mampu menghilangkan sejumlah cacat yang ada, jika cacat pada plat tersebut berada di permukaan plat.

Adapun perbandingan kekuatan tarik rata-rata antara material awal dan material hasil perlakuan panas ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9. Nilai tarik rata-rata material awal dan material hasil perlakuan panas.

Nilai tarik masing-masing spesimen awal	Kekuatan tarik rata - rata material awal	Kekuatan tarik masing-masing spesimen perlakuan panas	Kekuatan tarik rata-rata material hasil perlakuan panas
521,20	478,34	599,79	602,98
459,09		618,51	
454,75		594,19	
		619,82	
		582,63	

- **Hasil Uji Kekerasan**

Berikut adalah data hasil uji kekerasan pada spesimen, data hasil uji ditunjukkan pada tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Nilai kekerasan masing-masing spesimen.

Nomor Material uji (no urut plat)	NILAI KEKERASAN (HRC)			NILAI KEKERASAN RATA-RATA (HRC)
	A	B	C	
1	10,58	9,83	10,64	10,35
5	11,55	11,34	10,70	11,13
10	9,76	11,80	14,34	11,96
15	16,38	16,78	12,20	15,12
20	11,43	14,93	13,64	13,33

Dari hasil uji kekerasan didapatkan bahwa nilai kekerasan tertinggi yaitu pada plat dengan momer kode 15, dengan nilai 15.02 HRC. Sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu pada spesimen dengan nomer kode 1, nilai kekerasan pada spesimen 1 yaitu 10,35 HRC. Dari hasil yang didapatkan memperkuat dugaan bahwa proses permesinan yang dilakukan pada spesimen akan menghilangkan beberapa cacat awal dari plat hasil pengecoran.

Dengan demikian hasil NDT yang dilakukan sebelum plat dikenai proses permesinan dan setelah dikenai proses permesinan pasti mengalami perbedaan, sehingga mempengaruhi sifat mekanik baik kekuatan ataupun kekerasan spesimen. Sementara itu nilai kekerasan antara material awal dan material yang telah mengalami perlakuan panas ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11. Hasil uji kekerasan rata-rata material awal dan material hasil perlakuan panas.

Nilai kekerasan masing-masing specimen awal (HRC)	Kekerasan rata – rata material awal (HRC)	Nilai kekerasan masing-masing specimen perlakuan panas (HRC)	Kekerasan rata-rata material hasil perlakuan panas (HRC)
33,23	32,61	10,35	12,37
		11,13	
11,96			
15,12			
13,33			
32,20			



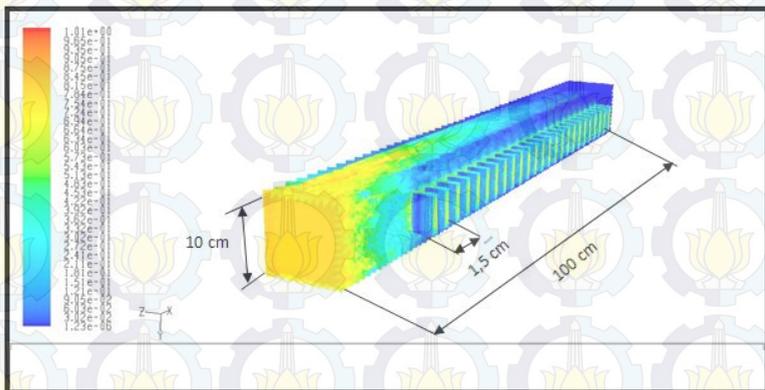
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

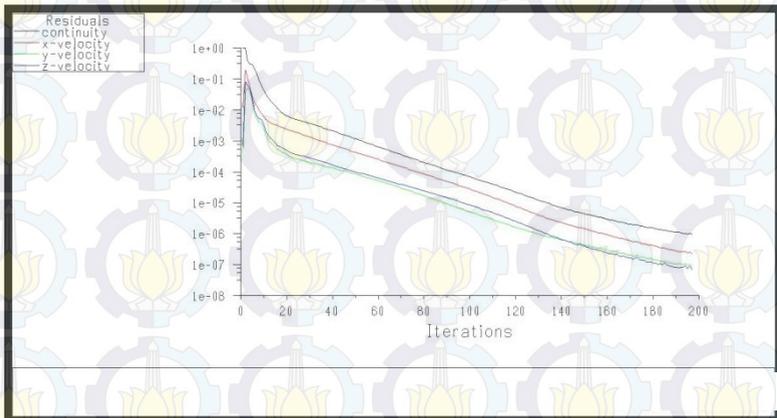
5.1 Analisa Pengaruh Runner Terhadap Distribusi Kecepatan Aliran Logam Cair Pada Masing-Masing Plat Dengan Menggunakan Simulasi Numerik Fluent

Penggunaan bentuk runner yang berpenampang tetap tidaklah sesuai dengan standart 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 dkuatirkan 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. Gambar 5.1 berikut menggambarkan model yang digunakan pada simulasi benda cor untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran logam akibat dampak dari penggunaan runner yang berpenampang tetap.



Gambar 5.1 Model simulasi benda cor dengan software fluent.

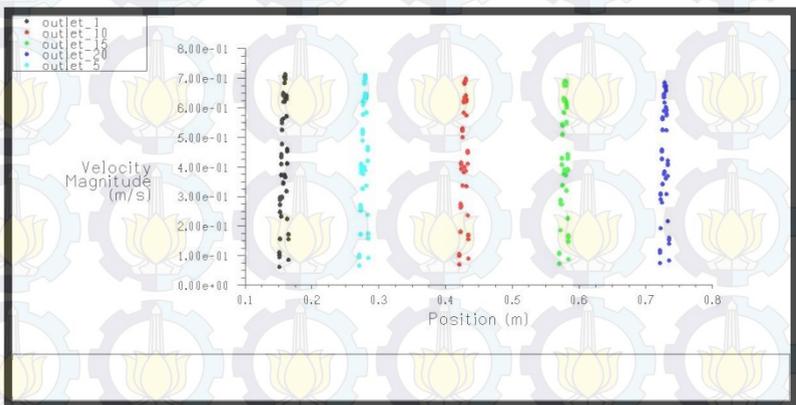
Dari gambar 5.1 dapat dijelaskan bahwa kecepatan aliran logam saat memasuki plat yang posisinya paling dekat dengan *pouring basin* mempunyai profil kecepatan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan aliran logam pada saat memasuki rongga plat yang ke dua puluh lima. Hasil simulasi secara keseluruhan menyatakan semakin jauh letak plat dari pouring basin maka semakin kecil kecepatan aliran pada daerah lokal tersebut. Untuk plat ke-1 mempunyai jarak terdekat dengan pouring basin sehingga mempunyai kecepatan yang lebih besar dibandingkan dengan plat ke-25. Pengurangan kecepatan bisa disebabkan karena gesekan pada dinding permukaan serta meningkatnya viskositas logam akibat proses solidifikasi. Sehingga semakin jauh jarak runner yang ditempuh oleh logam cair maka kemungkinan gaya gesek yang dilawan akan semakin besar. Sistem simulasi ini menggunakan tingkat konvergensi 1/1.000.000 desimal, sehingga nilai konvergen akan tercapai minimal jika profil kecepatan telah diiterasi dan mencapai batas 10^{-6} . Berikut akan dijelaskan pada gambar 5.2 hasil iterasi hingga mencapai nilai konvergen dari profil kecepatan pada model benda cor.



Gambar 5.2 Proses konvergensi aliran logam cair pada benda cor.

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa untuk mencapai konvergensi pada nilai 10^{-6} dilakukan ietrasi sebanyak 200 kali, secara teoritis gambar diatas sudah menunjukkan proses yang benar sesuai aturan bahwa nilai konvergensi minimum yaitu 10^{-4} .

Berikut adalah gambar hasil simulasi yang menggambarkan distribusi nilai kecepatan untuk plat dengan kode 1, 5, 10, 15 dan 20 ditunjukkan pada gambar 5.3.



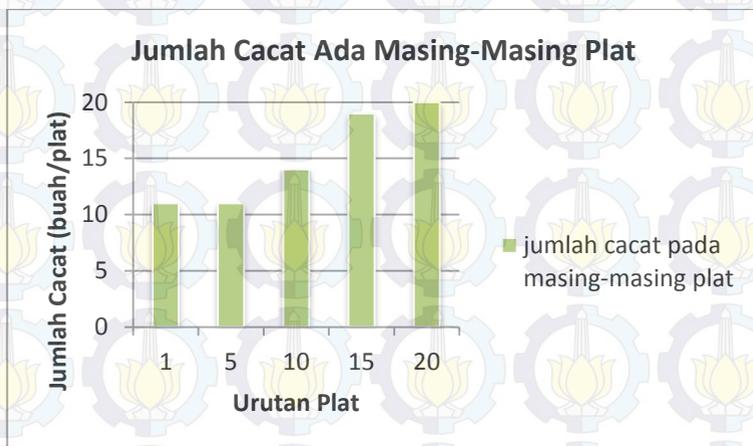
Gambar 5.3 Perbandingan kecepatan hasil simulasi fluent.

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 ke-25 plat relatif sama.

5.2 Analisa Cacat Hasil Coran

Dari pengujian tidak merusak dengan menggunakan penetrant, telah didapatkan data mengenai jumlah cacat pada kelima plat hasil pengecoran sebelum proses permesinan spesimen, ditunjukkan pada grafik 5.4.



Gambar 5.4 Tabulasi jumlah cacat pada masing-masing plat.

Jumlah cacat yang ada pada masing-masing plat berbeda walaupun kelima plat dibuat pada satu cetakan, tetapi nilai perbedaan cacat tidak terlalu besar hal tersebut terjadi akibat kecepatan aliran logam cair saat memasuki saluran masuk dari masing-masing rongga cetak plat relative sama. Untuk dimensi benda cor pada penelitian ini relatif kecil sehingga penggunaan luasan penampang runner yang tetap tidak memberikan efek perbedaan kecepatan aliran logam cair yang signifikan pada masing-masing *ingate*. Walaupun hasil dari simulasi menyatakan aliran logam cair yang akan mengisi rongga plat yang letaknya terjauh dari cawan tuang akan melewati pengalir (*runner*) dengan jarak lebih panjang saat menuju rongga cetak dari plat tersebut, tentunya gaya gesek yang dilawan oleh aliran logam cair pasti lebih besar yang akhirnya akan memperkecil kecepatan aliran logam cair. Selain faktor gesekan, faktor lain yang mengurangi kecepatan aliran logam cair adalah solidifikasi dari logam cair itu sendiri. Semakin jauh (panjang) pengalir yang dilalui oleh logam cair, maka perpindahan panas dari logam cair ke lingkungan akan semakin besar pula sehingga mempercepat solidifikasi logam. Dengan demikian maka resiko cacat pada plat yang memiliki jarak saluran masuk terjauh dari cawan tuang lebih besar dibandingkan dengan plat yang lain tetapi hal ini tidak begitu signifikan untuk dimensi benda coran yang relative kecil dengan panjang *runner* 100 cm. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil pengecoran yang ditunjukkan pada gambar 5.4. Urutan plat ke 20 mempunyai jumlah cacat terbanyak karena jaraknya yang terjauh dari cawan tuang akan tetapi selisih cacat antar plat tidak banyak.

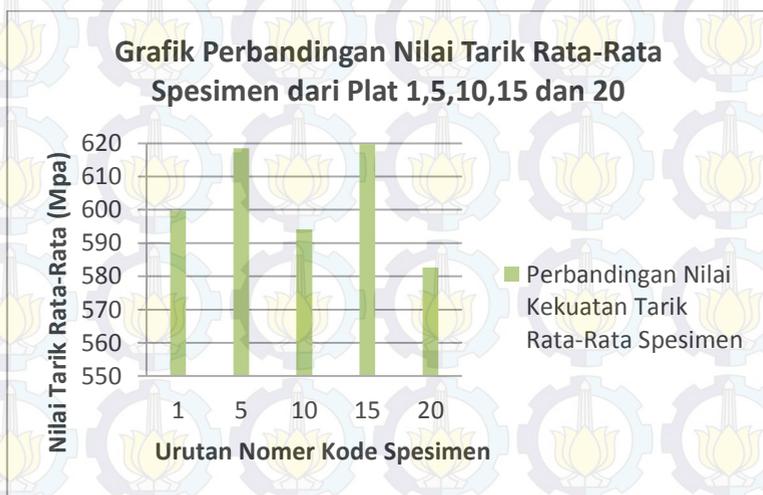
Cacat yang terjadi pada kelima plat sebagian besar berupa porositas baik pada permukaan ataupun didalam plat. Tinjauan jumlah cacat yang ditabulasikan pada gambar 5.4 adalah cacat yang berada di permukaan plat, karena pengujian yang dilakukan untuk mengetahui jumlah cacat adalah liquid penetrant. Cacat porositas pada plat tersebut bisa diakibatkan karena adanya gelembung udara yang terjebak pada saat penuangan logam cair. Untuk menanggulangi udara yang terjebak, maka pada

proses pengecoran plat diberi sejumlah oksidator yaitu berua almunium dan silikon serta gas oksigen. Peran dari almunium untuk dan silikon yaitu untuk mengikat oksigen yang terjebak pada logam cair, sedangkan peran oksigen untuk mengikat hidrogen dan nitrogen yang terlarut pada logam cair.

Dari uraian dan analisa cacat dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin jauh jarak plat dari *pouring basin* maka cacat permukaan benda cor semakin banyak akibat perbedaan aliran, tetapi untuk ukuran benda cor dengan dimensi yang kecil (dimensi runner 100 cm) perbedaan kecepatan logam di sepanjang runner tidak signifikan . bahkan kecepatan bias dianggap sama. Sehingga jumlah cacat dari plat 1, 5,10,15dan 20 relatif sama dengan selisih tidak begitu besar.

5.3 Uji Tarik

Gambar 5.5 menggambarkan hasil kekuatan tarik rata-rata dari spesimen plat ke1, 5, 10, 15, dan plat ke 20.



Gambar 5.5 Kekuatan tarik rata-rata plat 1,5,10,15 dan 20.

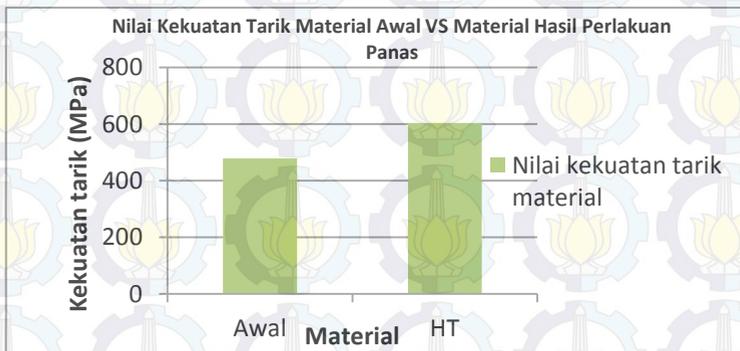
Pada gambar 5.5 dapat dilihat bahwa pada spesimen plat ke-1 nilai tarik rata-rata mencapai 599,79 Mpa, untuk spesimen plat ke5 bernilai 615,81 Mpa, untuk spesimen plat ke 10 dan ke15 nilai tarik rata-rata mencapai 594,19 Mpa, 619,82 Mpa sedangkan untuk spesimen plat ke20 nilai tarik rata-rata mencapai 582,63 Mpa.

Secara teoritis nilai tarik spesimen plat ke1 seharusnya paling tinggi dan nilai tarik rata-rata spesimen plat ke20 adalah terendah. Tetapi dari percobaan yang dilakukan didapatkan hasil nilai tarik spesimen plat ke15 justru yang paling tinggi. Hal tersebut bisa diakibatkan proses permesinan yang dilakukan pada kelima plat saat diproses menjadi spesimen uji tarik. Permesinan yang dilakukan berupa proses sekrap, akibat dari proses ini sebagian cacat pada plat dapat dihilangkan khususnya cacat yang ada di permukaan. Dengan demikian maka cacat yang mempengaruhi kekuatan tarik adalah cacat yang menjorok kedalam berbentuk kaviti, karena tidak mampu dihilangkan oleh mesin sekrap.

Jangkauan cacat yang dapat dihilangkan oleh mesin sekrap yaitu cacat dengan kedalaman maksimal 2 mm dari permukaan. Perbedaan prediksi secara teoritis dengan hasil percobaan kekuatan tarik rata-rata dari kelima plat bisa diakibatkan pula pada letak cacat pada masing-masing plat. Walaupun pada hasil NDT plat ke15 mempunyai jumlah cacat permukaan yang lebih banyak, tetapi pada bagian cacat tersebut ternyata tidak berada pada lokasi *gauge length* maka tidak akan mempengaruhi kekuatan tarik daripada spesimen tersebut. Dengan demikian sangatlah mungkin plat ke15 mempunyai nilai tarik rata-rata paling tinggi. Tetapi nilai tarik dari kelima plat masih memenuhi standar ASTM 217 WC 9, hal tersebut berkaitan dengan kecepatan aliran logam pada kelima plat yang sama.

Selain membandingkan nilai tarik rata-rata dari kelima plat hasil pengecoran, percobaan juga dilakukan untuk membandingkan kekuatan tarik rata-rata dari material awal baja G17CrMo9-10 dengan material G17CrMo9-10 yang telah mengalami perlakuan panas Anearling-Quench Temper. Kekuatan tarik rata-rata untuk baja yang mengalami perlakuan panas yang digunakan adalah kekuatan tarik rata-rata dari kekuatan tarik kelima plat.

Untuk material awal secara teoritis seharusnya mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik material yang mengalami perlakuan panas anearling-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. Gambar 5.6 berikut menjelaskan tentang hasil perbandingan kekuatan tarik rata-rata material awal dan material yang mengalami perlakuan panas.

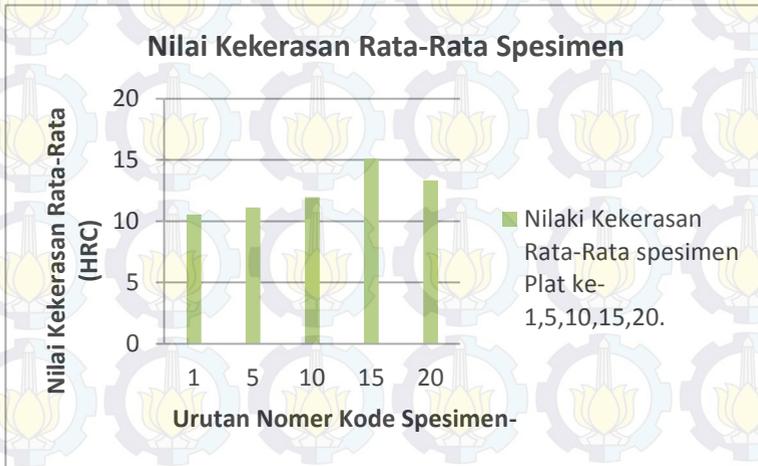


Gambar 5.6 Kekuatan tarik rata-rata material awal dan material hasil perlakuan panas.

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. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa material baja dengan kadar karbon yang cukup akan membentuk struktur mikro berupa martensit temper jika dikenai dengan perlakuan panas berupa Quenching Temper. Sementara Normalizing yang dilakukan hanya bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa pada material tanpa merubah struktur mikro. Hasil struktur mikro yang berupa martensit temper mempunyai kekuatan dan kekerasan yang lebih baik dibandingkan dengan struktur mikro material awal berupa perlit-ferit. Hal ini diakibatkan jumlah satuan kristal dalam satu lattice pada susunan kristal martensit lebih besar dibandingkan dengan jumlah kristal pada susunan lattice ferrite-perlit. Adapun susunan kristal pada martensit berupa BCT (Body Center Tetragonal) sedangkan ferit mempunyai sistem FCC dan perlit mempunyai susunan BCC. Diantar ketiga susunan kristal tersebut susunan BCT yang paling kuat dengan volume kristal terbesar.

5.4 Uji Kekerasan

Gambar 5.7 berikut menunjukkan hasil uji kekerasan antara spesimen material ke1,5,10,15 dan 20.



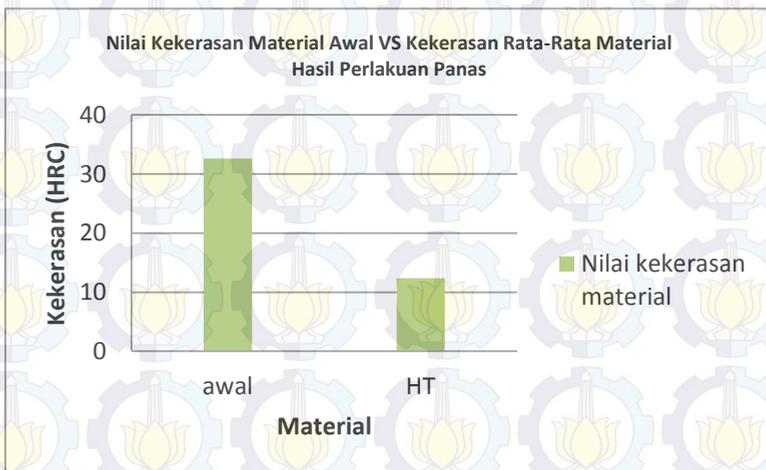
Gambar 5.7 Perbandingan nilai kekerasan kelima spesimen .

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi yaitu pada plat dengan kode 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.

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.

Selain membandingkan pengujian kekerasan kelima plat (1,5,10,15,20), juga dilakukan pengujian kekerasan untuk membandingkan nilai kekerasan material awal dengan material hasil perlakuan panas normalizing-Quenching temper. Gambar 5.8 berikut menjelaskan tentang perbandingan nilai kekerasan material awal dengan material hasil perlakuan panas.



Gambar 5.8 Perbandingan nilai kekerasan material awal dan material hasil quenching-temper.

Hasil percobaan yang dilakukan menyatakan bahwa 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 temper yang dilakukan. Hasil dari tempering membuat material menjadi lebih lunak, apalagi hal tersebut diperkuat dengan proses annealing yang terjadi sebelum quenching, sehingga memungkinkan terjadi penurunan kekerasan dibandingkan dengan nilai kekerasan material awal. Hasil penelitian serupa juga didapatkan oleh RA. Grange et al, dari U.S Steel Corporation.

Selain faktor pemotongan, hal lain yang mampu menurunkan nilai kekerasan dari material hasil perlakuan panas adalah letak cacat pada material uji, jika cacat terletak pada area uji kekerasan.

5.5 Pengamatan Metalografi

Dari pengamatan metalografi yang dilakukan didapatkan hasil struktur mikro pada spesimen awal, spesimen plat ke-1 ,5, 10 ,15 dan 20. Gambar 5.9 berikut merupakan hasil uji metalografi untuk material awal.



Gambar 5.9 Struktur mikro material awal Perbesaran 50X.

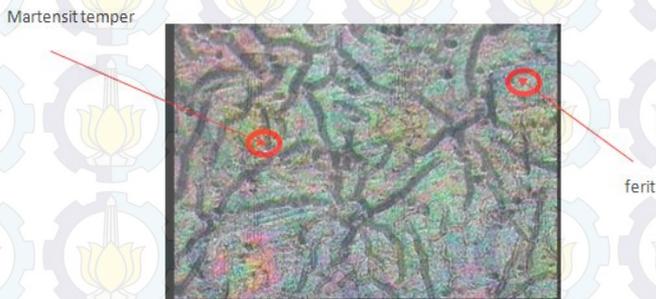
Dari hasil metalografi dapat dilihat bahwa struktur mikro material awal sebagian besar adalah ferit dan perlit. Hal ini sesuai dengan kandungan unsur karbon dari material yaitu 0,2 % karbon pada temperatur ruang dibawah A1. Dengan demikian baja untuk material awal yaitu berupa baja karbon rendah dengan paduan Cr dan Mo tinggi. Sifat daripada unsur paduan yang ditambahkan adalah sebagai penguat ketahanan terhadap korosi. Karena secara umum penggunaan baja G17 CrMo9-10 adalah lingkungan korosif dengan temperatur tinggi. Dengan melihat kadar karbon

pada material awal yang cukup rendah, dengan adanya quenching maka material tidak mungkin seratus persen menghasilkan martensit. Berdasarkan kandungan karbon yang ada, struktur mikro hasil perlakuan panas dimungkinkan berupa martensit dan sebagian ferrit, hal tersebut diperkuat dengan peran Cr dan Mo sebagai ferrit stabilizer. Dengan adanya penambahan unsur paduan juga akan menambah nilai kekerasan dari material awal. Hal tersebut dikarenakan secara umum fungsi daripada unsur Cr dan Mo selain meningkatkan ketahanan terhadap korosi, juga mampu meningkatkan kekerasan pada material awal.

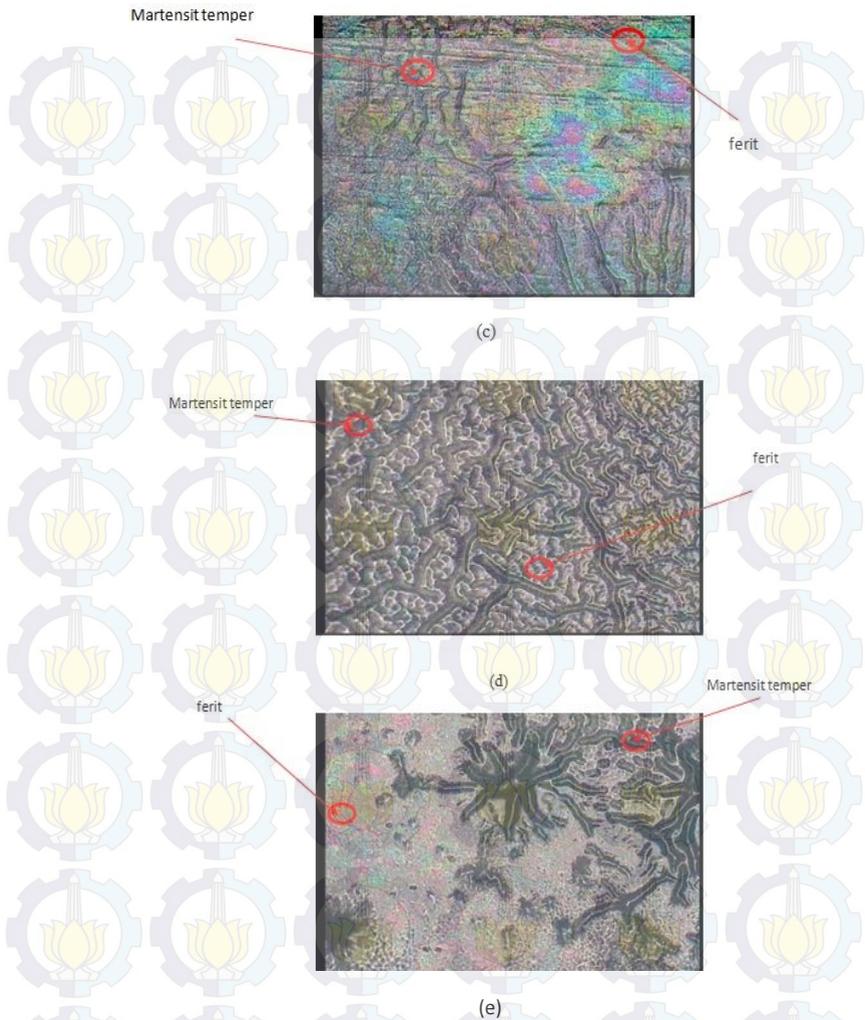
Pada gambar 5.20 Struktur mikro material hasil perlakuan panas pada spesimen plat ke-1,5,10,15 dan 20.



(a)



(b)



Gambar 5.10. (a) Struktur mikro spesimen 1, (b) struktur mikro spesimen 5, (c) struktur mikro spesimen 10 perbesaran 10x, (d) struktur mikro spesimen plat ke-15, (e) struktur mikro spesimen plat ke-20 perbesaran 50X

Dari hasil pengamatan struktur mikro material hasil perlakuan panas maka sebagian besar hasilnya berupa ferit dan martensit temper. Adanya martensit temper menyebabkan material bersifat kuat tetapi juga lebih ulet daripada perlit. Adanya ferit menyebabkan material bersifat ulet. Sehingga tidak menutup kemungkinan hasil dari perlakuan panas anealing-quenching temper menghasilkan kekuatan tarik tinggi dengan kekerasan yang tidak terlalu tinggi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

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.

6.2 Saran

Adapun saran mengenai penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses pemesinan yang dilakukan pada spesimen harus dijaga suhu pemotongannya agar tidak mempengaruhi struktur mikro awal.
2. Proses pengecoran dan perlakuan panas harus dicatat secara terperinci mengenai variabel ataupun kondisi lingkungan, agar diketahui penyebab dari permasalahan jika ada penyimpangan hasil percobaan dengan teori yang ada.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

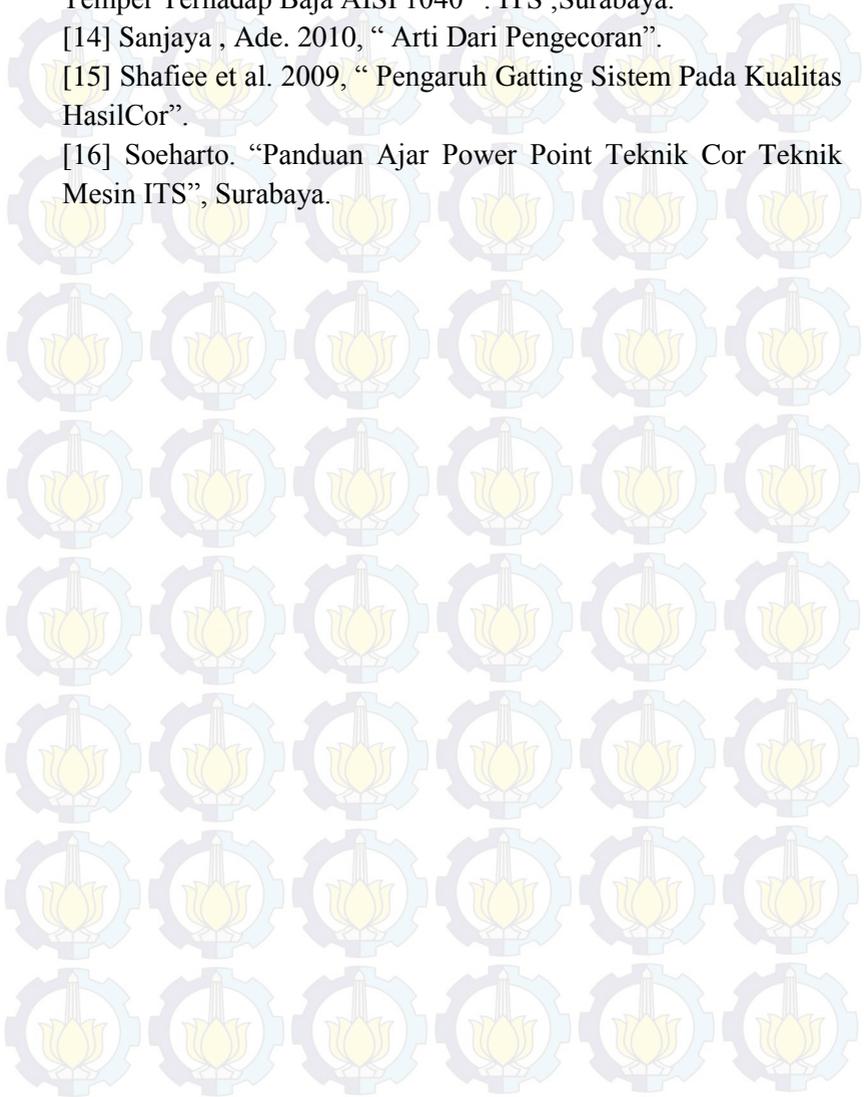
- [1]. CR, Brook. 1996. Heat treatment of plain carbon and low alloy steels. New York: ASM International
- [2]. Agung, Darmawan. "Pengaruh proses quenching dan tempering terhadap kekuatan baja SCMnCr. UMM.
- [3]. Kusharjanta, Bambang. 2012. "Pengaruh bentuk penampang runner terhadap cacat porositas dan kekersan hasil cor aluminium. UNS
- [4]. Clark, Donald S. dan Varney, Wilbur R., 1962, "Physical Metallurgy for Engineers, 2nd 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
- [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 2nd Edition", America.
- [12]. Mehl, Robert F., 1973, "Atlas of Microstructure of Industrial Alloys 8th Edition", American Society for Metals, Ohio.

[13]. Novika Lestiana dan Soeharto, 2006 ,“Pengaruh Quench Temper Terhadap Baja AISI 1040 “. ITS ;Surabaya.

[14] Sanjaya , Ade. 2010, “ Arti Dari Pengecoran”.

[15] Shafiee et al. 2009, “ Pengaruh Gating Sistem Pada Kualitas HasilCor”.

[16] Soeharto. “Panduan Ajar Power Point Teknik Cor Teknik Mesin ITS”, Surabaya.



BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Supri Arianto anak pertama dari dua bersaudara ini lahir di kabupaten Nganjuk 06 April 1992. Putra dari pasangan suami istri Bapak Suprayitno dan Ibu Mariatin. Memulai pendidikan di SDN Bat-Embat II dan diteruskan di SMPN 1 Loceret, kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 2 Nganjuk. Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas penulis melanjutkan studinya di S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil Jurusan Teknik Mesin bidang studi Metalurgi dan merangkap di laboratorium Perpindahan panas.

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis juga aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) Departemen Pengembangan Potensi Ilmiah Mahasiswa pada tahun pertama penulis menjabat sebagai staff biro pen delegasian PPIM-HMM, dan pada tahun kedua menjabat sebagai Kepala Biro Riset dan Teknologi PPIM -HMM. Selain itu penulis juga aktif sebagai pengurus MMC pada tahun pertama menjadi staff internal dan event, kepengurusan tahun kedua menjadi sekretaris Umum MMC. Empat tahun menjalanimasa perkuliahan penulis juga aktif dengan kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan karya tulis / paper. Prestasi yang diraih Penulis selama menempuh jenjang studi S-1 yaitu menjuarai LKTI Nasional Mech Fair Universitas Indonesia 2012.

Juara 2 Peringatan LKTI Teknologi perairan memperingati Hari Air Sedunia tingkat Kota Surabaya tahun 2012. Juara Harapan dua LKTI Nasional SAMPAN 6 ITS tahun 2012, dan Medali Perak Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) ke-25 Yogyakarta tahun 2012. Selain itu penulis juga menjadi asisten di beberapa mata kuliah seperti Statika, Mekanika kekuatan Material, Mekanika Fluida, Termodinamika, metalurgi dan ilmu bahan serta perpindahan panas. Apabila terdapat sesuatu yang berhubungan dengan penulis, dapat menghubungi no handphone / alamat email 085733464538/ supriarianto53@gmail.com

