



TUGAS AKHIR

PENGARUH PROSES PERLAKUAN PANAS DAN PENGELASAN MULTILAYER DENGAN ARUS 100 A, 125 A DAN 150 A TERHADAP KEKUATAN MEKANIK BAJA COR G17CrMo9-10 DENGAN STANDAR PENGELASAN ASTM A488

Ervan Ari Prasetyo

NRP. 2110 100 028

Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Wajan Barata, DEA

PROGRAM SARJANA

LABORATORIUM METALLURGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



FINAL PROJECT

EFFECT OF HEAT TREATMENT AND MULTILAYER WELDING WITH 100 A, 125 A DAN 150 A TO MECHANIC STRENGTH ON LOW CARBON STEEL G17CrMo9-10 USING WELDING STANDARD ASTM A488

Ervan Ari Prasetyo

NRP. 2110 100 028

Advisor Lecture: Prof. Dr. Ir. Wajan Barata, DEA

PROGRAM SARJANA

METALLURGY LABORATORIUM

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TEKNOLOGI

SURABAYA

2014

ABSTRAK

PENGARUH PROSES PERLAKUAN PANAS DAN PENGELASAN MULTILAYER DENGAN ARUS 100 A, 125 A DAN 150 A TERHADAP KEKUATAN MEKANIK BAJA COR G17CrMo9-10 DENGAN STANDAR PENGELASAN ASTM A488

Oleh

**Ervan Ari Prasetyo
NRP : 2110100028**

Dunia industri sangat berkaitan dengan mesin-mesin industri. Mesin industri yang digunakan terdiri dari beberapa komponen-komponen yang dibuat menggunakan material tertentu. Kegagalan material berupa retak atau patah banyak terjadi pada beban dinamik, walaupun beban yang diterima material masih jauh dari tegangan statis maksimum material. Hal ini juga beresiko pada saat pembongkaran baja turbin pada saat pengecoran. Oleh karena itu diperlukan proses repair berupa pengelasan.

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan dua perlakuan yang berbeda, yaitu perlakuan pertama material tanpa diberi perlakuan panas dan pengelasan, dan material dengan perlakuan panas dan pengelasan dengan variasi arus 100A, 125A, dan 150A. Spesimen mengalami proses pengecoran dan akan dilanjutkan dengan proses perlakuan panas antara lain proses normalizing-tempering-quenching. Proses normalizing dilakukan pada suhu 910°C , proses tempering dilakukan pada suhu 720° , dan quenching dilakukan pada suhu 950°C . ketiga perlakuan panas tersebut masing-masing dilakukan dengan jangka waktu penahanan 5,5 jam, 5 jam dan 5,5 jam. Sedangkan proses pengelasan menggunakan standart A488 ASTM dengan arus 100 ampere, 125 ampere dan 150 ampere menggunakan filler 7016. Setelah didapatkan masing-masing specimen untuk material tanpa perlakuan panas dan pengelasan dengan material yang diberi

perlakuan panas dan pengelasan, selanjutnya dilakukan pengujian untuk memperoleh data kekuatan tarik dan kekerasan dari masing-masing spesimen. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh proses pengelasan dan perlakuan panas terhadap kekuatan material.

Dari hasil pengujian kekuatan tarik, pengujian, hardness, dan pengujian metalografi didapatkan kekerasan paling besar nilainya terdapat pada material pengelasan 125A dengan nilai masing-masing 18HRc, 35HRc, dan 12HRc untuk daerah weld metal, HAZ, dan Base metal. Sedangkan kekuatan tarik tertinggi diperoleh pula pada pengelasan 125A dengan nilai kekuatan tarik 625,06MPa, dan struktur mikro yang terbentuk pada semua material adalah martensit-temper, dan ferrit.

*Kata Kunci :Baja G17Cr-Mo9-10, Annealing - Quenching
Temper, Pengelasan arus 100 A, 125A dan 150A, StrukturMikro*

ABSTRACT

EFFECT OF HEAT TREATMENT AND MULTILAYER WELDING WITH 100 A, 125 A DAN 150 A TO MECHANIC STRENGTH ON LOW CARBON STEEL G17CrMo9-10 USING WELDING STANDARD ASTM A488

By

Ervan Ari Prasetyo

NRP : 2110100028

On industrial workplace that known there are have a realtion with industrial machinery. Industrial machinery is using specific component of materials. Material failure that called crack often happen causes dinamic rotation, even theres get alot dinamic load that accepted by materials, there still fas from ultimate strenght of material. This have risk when product opened on casting proccess. Based on that risk needed repair for material called welding.

This reseach using three different treatment, the first material is non-heat treatment and non welding material, second using heat treatment material, and the last using heat treatment and welding material with ampere variation 100A,125A, and 150A. This specimen using proccess of casting and continued by heat treatment (normalizing-tempering-quenching). Normalizing is use a temperature of 910°C. Tempering use a temperature of 720°C, and last heat treatment quenching is ise temperature of 950°C. All heat treatment each holding time are 5.5 hour, 5 hour, and 5.5 hour. And welding proccess using standart A488 ASTM with variation 100A, 125A, and 150A. Welding proccess using 7016 filler for steel. After specimen are ready for all material that the first material is non-heat treatment and non welding material, second using heat treatment material, and the last using heat treatment and welding material, next step are getting data with doing tensile test, hardness test, microstructure test. This happen

for knowing how big the effect of heat treatment and welding process on material mechanic strenght.

Based on research of tensile test, hardness test, and metalography test ,the most high hardness value is materal using heat teatment and welding with 125A. The value of hardness on weld metal is 18 HRc, HAZ is 35, and base metal is 12 HRc. And on tensile strenght test the most high value is material using heat treatment and welding with 125A on 625,06 MPa, then the structure micro that shown on all material is mertensite temper and ferrit

Key word :Low carbon steel G17Cr-Mo9-10, Annealing - Quenching Temper, welding 100 A, 125A and 150A, Structure micro

**PENGARUH PROSES PERLAKUAN PANAS DAN PENGELASAN
MULTILAYER DENGAN ARUS 100 A, 125A,150A TERHADAP
KEKUATAN MEKANIK BAJA COR G17CrMo9-10 DENGAN
STANDAR PENGELASAN ASTM A488**

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 :

ERVAN ARI PRASETYO

NRP : 2110 100 028

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 20014

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah *azza wa jalla* yang telah memberikan segala nikmat, hidayah serta inayah dantaufiqNya kepada setiap hambaNya. Merupakan satu karunia dan pertolongan Allah pada setiap langkah dalam peyusunan Tugas Akhir ini sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Rasulullah *shallallahu alaihi wasalam* , keluarga, sahabat dan orang-orang yang senantiasa berusaha berpegang kepada tali agama Alah *azza wa jalla*. Melalui lembar ini penulis hendak mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang senantiasa mendukung dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terima kasih penulis kepada:

1. Ibu dan Ayah, Enik Susiana dan Suprpto yang telah menjaga, merawat dan banyak mendoakan dengan tulus setelah sholat wajib di gresik sana, semua yang diberikan sejak kecil tidak akan bisa saya balas dengan apapun.
2. Kakak Ermawan Supramianto yang membantu dalam bidang penulisan kata pengantar hingga semua format dan ilmu politik yang sering diajarkan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Wajan Berata DEA, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan pengalaman terbaiknya sewaktu kuliah di luar negeri, memberikan motivasi dan selalu melancarkan segala urusan tentang tugas akhir ini.
4. Bapak Suharto, Putu Suwarta, Hari Subianto selaku dosen penguji pada sidang maupun seminar yang memberikan banyak sekali masukan yang perlu dipelajari lagi untuk kedepannya. Semoga hasil revisi dari beliau bertiga mampu mempermudah pembaca memahami Tugas Akhir ini.
5. Kepada partner kerja Tugas Akhir Supri Arianto sebagai teman, sahabat, dari safari mesin sampai sekarang yang banyak sekali membantu di bidang akademik untuk

mencapai ipk 3 maupun dalam pengerjaan tugas akhir, semoga diberikan pahala yang melimpah atas kebaikannya.

6. Ratna Ayu Widyanti sebagai pendamping yang tidak lelah memberikan semangat pada penulis saat pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Segenap warga Lab. Metal. Dono, Hindun, Mas Rio, Esti, Babik, Mas Bilal, Mas Cuki, Zahra, Dewangga, yang sudah mengizinkan penulis untuk masuk sebagai warga walaupun hanya 1 semester untuk mengerjakan Tugas Akhir, mohon maaf kalau intensitas dan kontribusi saya kurang.
8. Segenap Warga Lab. Perpan, Mas Sule, Bagus, Sena, Kikin, Andi, Acong, Ruri, Danan, Rosyid, dan lainnya yang sudah memberikan tempat kedua setelah kosan untuk tidur dan mengerjakan Tugas Akhir bidang metalurgi di lab perpan. Semoga kalian dimudahkan dalam menghadapi dosen penguji Tugas Akhir.
9. Segenap Warga Lab Mekflu. Ageng, Acol, Kosmin, Fina, Farouq, Nafi, Imam, yang sudah memberikan tempat istirahat ketika memenuhi persyaratan yang diberikan pada saat Tugas Akhir.
10. Kepada MMC Crew yang menjabat maupun yang sudah tidak menjabat sebagai pengurus aktif, Aqfa, Arya, Arale, Gandung, Maria, Afifah, Endah, Raisa, Risti, Agung, Danu, Rian, Mas Opang, Mas Hastia, dan pengurus baru MMC Crew 2014-2015 semoga MMC semakin kreatif dan berkembang setiap tahunnya.
11. Segenap warga Sapu Angin. Fadli, Anas, Daffi, Itang, yang sudah meminjamkan fasilitas selama pengerjaan Tugas Akhir ini
12. Kepada Karyawan Metalurgi, pak Endang, pak Budi, pak Mantri, mas Agus yang sudah menyempatkan waktunya untuk membantu selesainya Tugas Akhir dalam bidang pengerjaan dan pengujian

13. Kepada seluruh Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM) yang sudah memberi pengalaman hidup di perkuliahan ini dan membantu mengajarkan penyelesaian masalah dengan berbagai permasalahan
14. Kepada seluruh saudaraku seiman dan se-Islam yang telah mendukung dan memberikan doa, *uhibbukum fillah*

Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, maka kritik dan saran sangat diperlukan untuk menyempurnakan penyusunan Tugas Akhir. Dan akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di Indonesia.

Surabaya, Agustus 2014

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat hasil Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka.....	4
2.2. Dasar Teori.....	8
2.2.1 . Baja Karbon.....	8
2.2.2. Baja ASTM A488 G17CrMo9-10	9
2.2.3. Kekuatan Logam	9
2.2.4. Perlakuan Panas Baja	10
2.2.5. Pengelasan	16
2.2.6. Arus Listrik Pada Proses Pengelasan.....	17
2.2.7. Kekerasan Pada Material.....	18

BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	30
3.2. Material Benda Uji.....	31
3.2.1. Bentuk dan Ukuran Spesimen	32
3.2.2. Perlakuan Panas Pada Spesimen.....	33
3.3. Langkah-langkah pengujian.....	35
3.1.1. Prosedur pembuatan spesimen	35
3.3.2. Pengujian lelah.....	35
3.3.3. Pengujian kekerasan.....	36
3.3.4. Pengamatan Struktur Mikro.....	36
BAB IV DATA HASIL PENELITIAN	39
4.1 Hasil Pengujian Spektro... ..	39
4.2 Hasil Pengujian Non Destructive Test.....	40
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan.....	42
4.3.1 Kekerasan Pada Material Sebelum Perlakuan Panas.....	42
4.3.2 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas.....	43
4.3.3 Kekerasan Pada Material Pengelasan 100A....	44
4.3.4 Kekerasan Pada Material Pengelasan 125A....	45
4.3.5 Kekerasan Pada Material Pengelasan 150A....	46
4.4 Hasil Uji Struktur Mikro.....	47
4.4.1 Hasil Struktur Mikro Material Awal.....	47

4.4.2 Hasil Struktur Mikro Material Setelah Perlakuan Panas.....	48
4.4.3 Hasil Struktur Mikro Pengelasan 100A.....	49
4.4.4 Hasil Struktur Mikro Pengelasan 125A	50
4.4.5 Hasil Struktur Mikro Pengelasan 150A.....	50
4.5 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	51
4.6 Data Pengaruh Perbedaan Arus Pengelasan.....	54
4.6.1 Variasi Arus (100A).....	55
4.6.2 Variasi Arus (125A).....	56
4.6.3 Variasi Arus (150A).....	57
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	58
5.1 Analisa Sifat Mekanik Material.....	58
5.1.1. Analisa Kekerasan Material	58
5.1.2 Analisa Kekuatan Tarik Spesimen.....	60
5.1.3 Analisa Pengujian Struktur Mikro.....	61
5.2 Hubungan Pengaruh Variasi Arus dengan Kekuatan Mekanik.....	62
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	64
6.1 Kesimpulan.....	64
6.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan kimia baja ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10).....	9
Tabel 2.2. Standar pengelasan ASTM A488.....	19
Tabel 2.3. Faktor ukuran material untuk berbagai diameter.....	26
Tabel 2.4. Harga faktor kondisi C_L , C_D dan C_S	27
Tabel 3.1. Komposisi kimia standar untuk baja temperatur tinggi.....	33
Tabel 3.2. Sifat mekanik A488M-12.....	33
Tabel 3.3. Tabel hasil uji statik.....	39
Tabel 4.1 Tabel hasil uj ispektro.....	40
Tabel 4.2 Hasil Kekerasan Material Awal Tanpa Perlakuan Panas.....	43
Tabel 4.3 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas.....	44
Tabel 4.4 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas dan Pengelasan Arus 100 A.....	44
Tabel 4.5 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas dan Pengelasan Arus 125 A.....	45
Tabel 4.6 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas dan Pengelasan Arus 150 A.....	46
Tabel 4.6 Hasil Uji tarik specimen.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik hubungan umur lelah terhadap pembebanan pada pengujiankekuatan.....	5
Gambar 2.2.	Grafik kekerasan Baja ST 41 dengan perbedaan perlakuan panas.....	5
Gambar 2.3.	Struktur mikro baja ST 41 tanpa perlakuan panas dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X.....	6
Gambar 2.4.	Struktur mikro baja ST 41 hasil quench-temper 200°C dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X.....	6
Gambar 2.5.	Struktur mikro baja ST 41 hasil quench-temper 300°C dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X.....	6
Gambar 2.6.	Struktur mikro baja ST 41 hasil quench-temper 400°C dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X.....	7
Gambar 2.7.	Grafik rata-rata kekerasan terhadap variasi arus listrik pengelasan	7
Gambar 2.8.	Grafik rata-rata kekuatan tarik terhadap variasi arus listrik pengelasan.....	9
Gambar 2.9.	Hubungan kandungan karbon terhadap kekerasan sementit bulat pearlit dan martensit.....	12

Gambar 2.10.	Kurva perbandingan laju pendinginan baja karbon 0,55% pada beberapa media pendingin	12
Gambar 2.11.	Struktur mikro pada pendinginan kontinyu <i>fine pearlite</i> dan martensit <i>fine pearlite</i> dengan beberapa bainit dan martensit	13
Gambar 2.12.	Skema proses perlakuan panas quench-temper.	14
Gambar 2.13.	Grafik hubungan kekerasan dengan temperatur temper.	15
Gambar 2.14.	Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada baja hasil quench-temper, <i>annealing</i> , dan <i>normalizing</i> .	15
Gambar 2.15.	Baja AISI 1040 austenitsasi pada temperatur 802°C waktu penahanan selama 40 menit dan di temper selama 6 jam. Menghasilkan <i>spherodized carbide</i> dengan matrik ferit.	16
Gambar 2.16.	Ukuran groove untuk repair welding baja ASTM 217.	17
Gambar 3.1	Diagram alir percobaan.	29
Gambar 3.2	Desain body baja turbin.	29
Gambar 3.3	Mekanisme Anealling.	31
Gambar 3.4	Mekanisme Quench-Temper.	32
Gambar 3.5	Spesimen uji tarik menurut standar ASTM 488.	33
Gambar 3.6	Dimensi spesimen uji tarik.	33
Gambar 3.7	Mesin uji spektro.	35

Gambar 3.8	Penampang identasi pengujian kekerasan.....	36
Gambar 4.1	Pengujian liquid penetrant specimen pengelasan 100A(a) perbesaran cacat 10x(b).....	40
Gambar 4.2	Pengujian liquid penetrant specimen pengelasan 125A(a) perbesaran cacat 10x(b).....	41
Gambar 4.3	Pengujian liquid penetrant specimen pengelasan 150A(a) perbesaran cacat 10x(b).....	41
Gambar 4.4	Grafik kekerasan pada daerah pengelasan, HAZ, dan base metal sesuai indentasi 1,2,dan 3 pada specimen pengelasan 100A.....	44
Gambar 4.5	Grafik kekerasan pada daerah pengelasan, HAZ, dan base metal sesuai indentasi 1,2,dan 3 pada specimen pengelasan 125A.....	45
Gambar 4.6	Grafik kekerasan pada daerah pengelasan, HAZ, dan base metal sesuai indentasi 1,2,dan 3 pada specimen pengelasan 150A.....	47
Gambar 4.7	struktur mikro spesimen awal perbesaran 10 x(a), dan 50 x (b)	
Gambar 4.8	struktur mikro spesimen perlakuan panas perbesaran 10x (a), dan 50 x(b).....	48
Gambar 4.9	struktur mikro spesimen las 100 A daerah Las (a), HAZ (b), dan base metal (c).....	48

Gambar 4.10 struktur mikro spesimen las 125 A daerah Las (a), HAZ (b), dan base metal (c).....	49
Gambar 4.11 struktur mikro spesimen las 150 A daerah Las (a), HAZ (b), dan base metal (c).....	50
Gambar 4.12 spesimen Uji tensile sebelum ditarik.....	52
Gambar 4.13 perhitungan kecepatan menggunakan software e- weld v3.2 ML.....	55
Gambar 4.14 Hasil Pengelasan Spesimen 100A.....	55
Gambar 4.15 Hasil Pengelasan Spesimen 125A.....	55
Gambar 4.16 Hasil Pengelasan Spesimen 150A.....	56
Gambar 5.1 Grafik perbandingan kekerasan 100A, 125A, dan 150A.....	57
Gambar 5.2 Grafik kekuatan tarik material awal tanpa perlakuan, material dengan perlakuan panas, material pengelasan 100A, 125A, dan 150A.....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia industry sangat berkaitan dengan mesin-mesin industri. Mesin industri yang digunakan terdiri dari beberapa komponen-komponen yang dibuat menggunakan material tertentu. Penggunaan material pada suatu komponen disesuaikan dengan kebutuhannya. Pada umumnya material yang sering digunakan pada komponen mesin adalah baja, contohnya body pada turbin gas. Baja seringkali ditemui pada komponen mesin industri dikarenakan efisiensi dan efektifitasnya.

Perlunya material yang kuat terhadap beban dinamik yang dialami oleh body turbin memaksa industri pengecoran menggunakan material tertentu yang memiliki sifat kekerasan tinggi dan ketangguhan yang tinggi. Material yang memiliki kekerasan tinggi melalui proses pendinginan yang cepat sehingga terbentuk struktur penyusun yang padat. Hal ini sangat rentan terhadap crack atau retakan pada material jika cetakan pasir dibongkar. Dari beberapa material yang telah dicetak oleh industri pengecoran, kemungkinan terjadinya crack besar.

Timbulnya crack dapat menurunkan performa baja turbin dalam menahan beban dinamik yang terjadi saat power-plant dijalankan. Oleh sebab itu cacat atau crack yang dihasilkan pengecoran harus dilakukan proses *repair*, proses *repair* dapat dilakukan dengan pengelasan pada daerah cacat. Proses pengelasan inilah yang akan mengembalikan performa baja turbin untuk dapat menahan beban dinamik turbin. Adapun prosedur pengelasan yang dilakukan harus benar dan sesuai dengan material.

Penggunaan body baja turbine yang harganya lebih mahal dipasaran memberikan suatu permasalahan menarik untuk mencari material lain dari body baja turbin sendiri. Hal ini

menyebabkan sangat dibutuhkannya penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan kekuatan lelah material.

Pada penelitian ini akan ditinjau sejauh mana pengaruh dari pemberian arus listrik pada pengelasan dan perlakuan panas terhadap sifat mekanik dari baja G17CrMo9-10 yang diharapkan mendapatkan suatu titik maksimal kekuatan terbaik untuk dijadikan standar operasional pengelasan pada perusahaan pengecoran. Karena penelitian ini belum ada yang memulai sebelumnya maka referensi yang digunakan adalah SOP dari spesifikasi turbin.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan hasil uji mekanik dari material awal proses pengecoran tanpa perlakuan panas, material yang mendapatkan perlakuan panas dan pengelasan dengan arus 100 ampere, 125 ampere, dan arus 150 ampere?
2. Bagaimana pengaruh pengelasan dengan arus 100 ampere, 125 ampere, dan arus 150 ampere terhadap sifat mekanik baja G17CrMo9-10?

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang muncul dapat diselesaikan dengan baik dan penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan batasan masalah yang meliputi antara lain:

1. Proses laku panas sempurna dan merata pada semua material uji.
2. Proses pengecoran specimen sesuai dengan prosedur pembuatan baja turbin dan dianggap mempunyai komposisi kimia yang sesuai standar ASTM 217 WC9.
3. Variabel kecepatan pengelasan, kelembaban electrode dianggap konstan.

4. Dimensi dari specimen tarik dan kekerasan dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui, mempelajari, dan menganalisa perbandingan sifat mekanik dari material proses pengecoran tanpa perlakuan panas , material yang mendapatkan perlakuan panas dan pengelasan dengan arus 100 ampere, 125 ampere, dan arus 150 ampere.
2. Mengetahui, mempelajari, dan menganalisa pengaruh pengelasan dengan arus 100 ampere, 125 ampere, dan arus 150 ampere terhadap sifat mekanik bajaG17CrMo9-10.

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. Memberikan sumbangan data umur lelah Baja G17CrMo9-10 terhadap dunia pendidikan dan industri.
2. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya yang lebih detail.
3. Memberikan Informasi apakah pengelasan dan perlakuan panas terhadap material memiliki performa yang lebih baik dari material tanpa perlakuan panas.
4. Membantu terbentuknya SOP pengelasan baja G17CrMo9-10 yang benar untuk Industri.

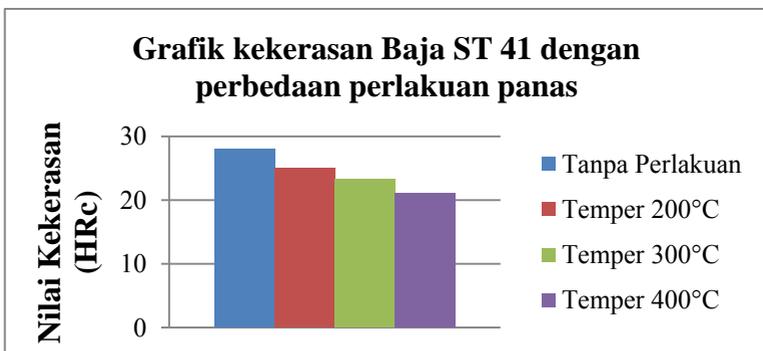
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Citra Indriani[2] dengan menggunakan baja ST 41 setelah pengujian mekanik dilakukan pada spesimen dengan perbedaan perlakuan panas yaitu tanpa perlakuan panas dan hasil quench-temper pada temperatur temper 200°C, 300°C, dan 400°C dengan variasi pembebanan sebesar $0,5\sigma_u$ (289,34 MPa), $0,6\sigma_u$ (405,202 MPa), dan $0,7\sigma_u$ (347,316 MPa).

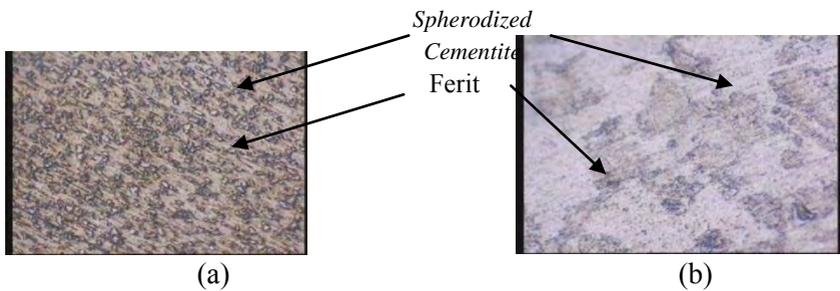
Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 5 kali pengindentasian pada penampang setiap spesimen. Dan hasil uji kekerasan pada ketiga variasi diatas didapatkan kekerasan pada spesimen tanpa perlakuan memiliki nilai rata-rata 28 HRc, spesimen quench-temper 200°C didapatkan 25 HRc, spesimen quench-temper 300°C didapatkan 23,2 HRc dan spesimen quench-temper 400°C didapatkan 21 HRc.

Gambar dibawah ini menunjukkan nilai kekerasan setiap spesimen sesuai perlakuan panas yang diberikan.

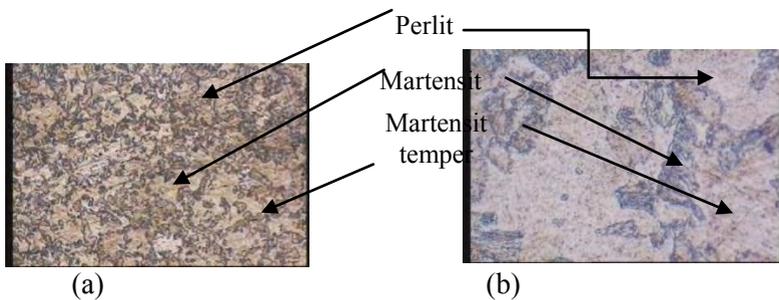


Gambar 2.2 Grafik kekerasan Baja ST 41 dengan perbedaan perlakuan panas[14]

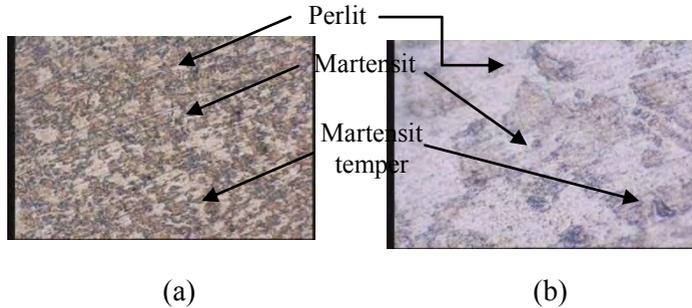
Dari hasil pengamatan metalografi didapatkan foto struktur mikro baja ST 41 dengan perbesaran 100X dan 500X. Pengamatan ini dilakukan pada baja ST 41 tanpa perlakuan panas, hasil quench-temper pada temperatur 200°C, 300°C, dan 400°C.



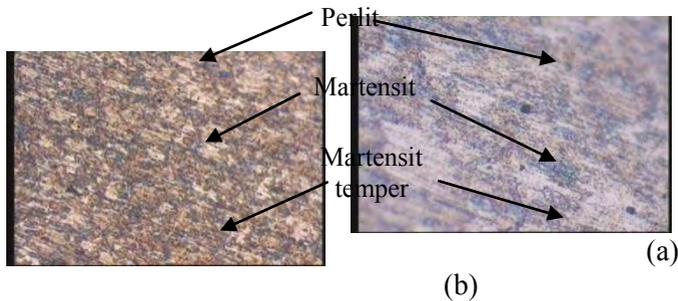
Gambar 2.3 Struktur mikro baja ST 41 tanpa perlakuan panas dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X[14]



Gambar 2.4 Struktur mikro baja ST 41 hasil quench-temper 200°C dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X[14]

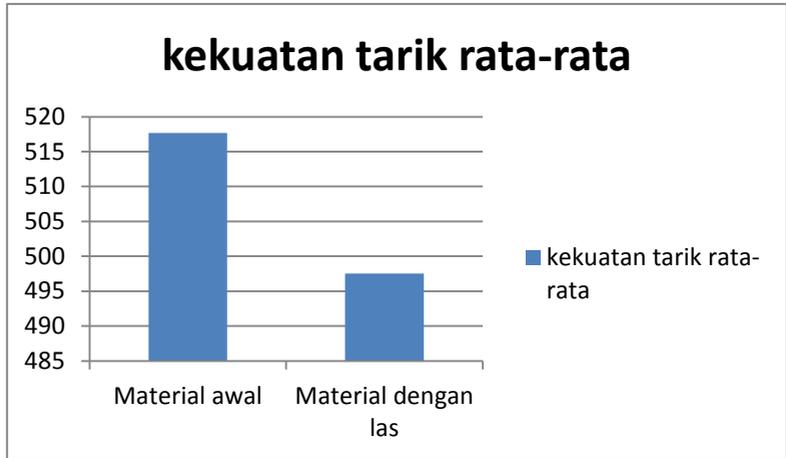


Gambar 2.5 Struktur mikro baja ST 41 hasil quench-temper 300°C dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X[14]



Gambar 2.6 Struktur mikro baja ST 41 hasil quench-temper 400°C dengan perbesaran (a) 100X dan (b) 500X[14]

Penelitian yang dilakukan oleh Karunia Apriani[3] menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata material awal dan material hasil pengelasan multilayer GTAW-SMAW. Nilai kekuatan tarik rata-rata untuk material awal adalah 517,7Mpa dan kekuatan luluh rata-rata sebesar 316,6Mpa. Sedangkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh rata-rata untuk material hasil pengelasan secara berturut-turut adalah 497,5 Mpa dan 437,6.



Gambar 2.7 Kekuatan tarik rata-rata

Dari pengujian tarik yang dilakukan diketahui bahwa patah yang terjadi berada di logam induk. Bukan pada weld metal seperti pada kasus industry sebelumnya. Lokasi patahan logam induk membuktikan bahwa panas yang dihasilkan pengelasan multilayer membuat daerah logam las dan HAZ mengalami peningkatan sifat mekanik. Ini menunjukkan bahwa pengelasan SMAW 3 layer dengan arus 100A, memiliki kualitas lasan yang lebih baik dibanding pengelasan di industry yaitu pengelasan 4 layer SMAW.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Baja Karbon

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan manusia, jenis dan bentuknya sangat banyak. Baja dengan kadar mangan (Mn) kurang dari 0,8 %, silikon (Si) kurang dari 0,5 % dan unsur lain yang sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan silikon sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidizer*, untuk mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran.

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

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 ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10)

Baja ASTM 217 WC9 (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 ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10)

diproduksi dengan pengecoran yang hasilnya rentan terhadap retak[2].

Adapun kandungan kimia dari baja ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10) ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Kandungan kimia baja ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Al
0.13	0.50	0.50	0.020	0.020	2.00	0.5	0.90	0.3	0.025	0.04
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.20	MAX	0.90	MAX	MAX	2.50	MAX	1.20	MAX	MAX	MAX

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kadar carbon relatif rendah dari kisaran 0.13 hingga 0.20 , hal ini menunjukkan bahwa baja turbin memiliki *machinability* dan *weldability* yang baik. Dan setelah diberi perlakuan panas baja akan memperbaiki kekerasan menjadi semakin meningkat.

2.2.3 Pengecoran Baja

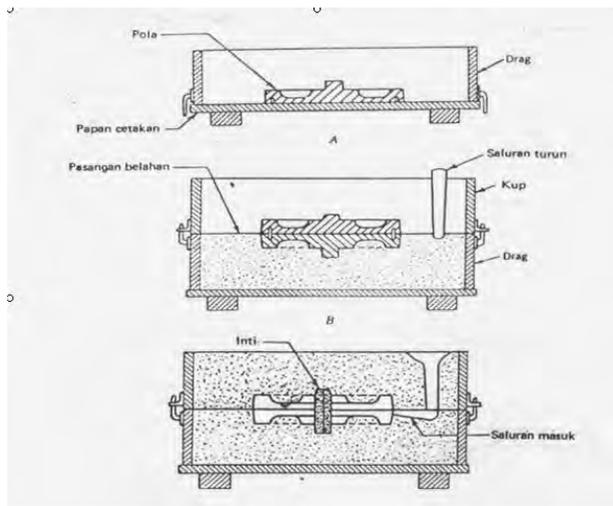
Proses pengecoran meliputi: pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Produk pengecoran disebut coran atau benda cor. Berat coran itu sendiri berbeda, mulai dari beberapa ratus gram sampai beberapa ton dengan komposisi yang berbeda, mulai dari beberapa ratus gram sampai beberapa ton dengan komposisi yang berbeda dan hamper semua logam atau paduan dapat dilebur dan dicor.

Proses pengecoran secara garis besar dapat dibedakan dalam proses pengecoran dan proses pencetakan. Pada proses pengecoran tidak digunakan tekanan sewaktu mengisi rongga cetakan, sedang pada proses pencetakan logam cair ditekan agar mengisi rongga cetakan. Karena pengisian logam berbeda, cetakan pun berbeda, sehingga pada proses pencetakan cetakan

umumnya dibuat dari loga. Pada proses pengecoran cetakan biasanya dibuat dari pasir meskipun ada kalanya digunakan pula plaster, lempung, keramik atau bahan tahan api lainnya.

2.2.3.1 Pembuatan Cetakan

Sebagai contoh akan diuraikan pembuatan roda gigi seperti pada Gambar di bawah ini. Cetakan dibuat dalam rangka cetak (flak) yang terdiri dari dua bagian, bagian atas disebut kup dan bagian bawah disebut drag. Pak kotak cetak yang terdiri dari tiga bagian, bagian tengahnya disebut cheek. Kedua bagian kotak cetakan disatukan pada tempat tertentu dengan lubang dan pin.



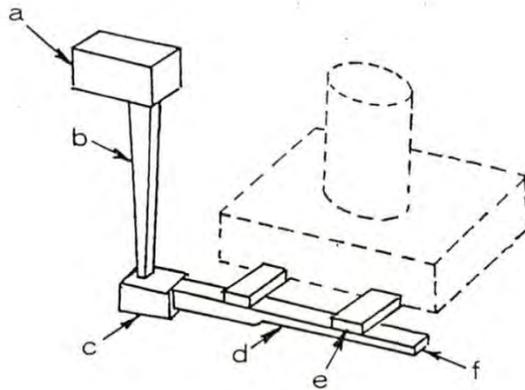
Gambar 2.9 Prosedur pembuatan cetakan pasir A, belahan pola diletakkan diatas papan cetakan , drag siap untuk diisi pasir B, Drag dibalik dan pasangan belahan pola diletakkan di atasnya. Kup siap untuk diisi pasir ,C

cetakan telah siap pakai lengkap dengan inti kering dan tempatnya [1]

2.2.3.2 Sistem saluran (Gating System)

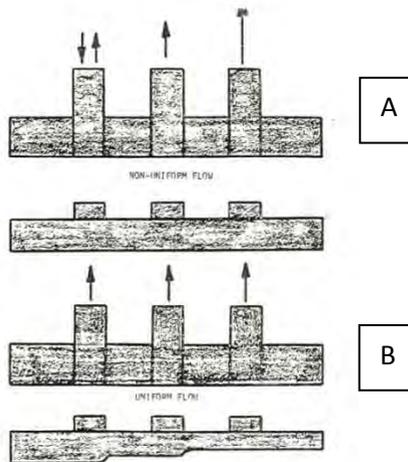
Sistem saluran masuk (gating system) untuk mengalirkan logam cair ke dalam rongga cetakan, terdiri dari cawan tuang, saluran turun, pengalir dan saluran masuk tempat logam mengalir memasuki rongga cetakan. Fungsi system saluran masuk perlu dirancang dengan mantap dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

- Aliran logam hendaknya memasuki rongga cetakan pada dasar atau dekat dasarnya dengan turbulensi seminimal mungkin. Hal ini perlu diperhatikan, khususnya pada benda tuang yang kecil



Gambar 2.10 Komponen gating system dengan keterangan a. Cawan tuang (*pouring basin*) b. Saluran turun (*sprue*) c. Saringan (*sprue basin*) d. Pengalir (*drag runner*) e. Saluran masuk (*cope ingate*) f. Pengalir tambahan (*runner extension*) [1]

- Pengikisan dinding saluran masuk dan permukaan rongga cetakan harus ditekan dengan mengatur aliran logam cair atau dengan menggunakan inti pasir kering.
- Aliran logam cair yang masuk harus diatur sedemikian sehingga terjadi solidifikasi terarah. Solidifikasi hendaknya mulai dari permukaan cetakan ke arah logam cair sehingga selalu ada logam cair cadangan untuk menutupi kekurangan akibat penyusutan.
- Usahakanlah agar slag, kotoran atau partikel asing tidak dapat masuk ke dalam rongga cetakan.
- Runner yang digunakan adalah runner dengan pengecilan luas penampang agar logam cair memperoleh kecepatan yang *uniform* saat mengisi cetakan. Penjelasan ini dapat dijelaskan dengan gambar berikut.



Gambar 2.11 Sistem saluran runner dengan A. non uniform flow dan B. Uniform flow

2.2.4 Perlakuan Panas pada Baja

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 dan normalizing*. *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*.

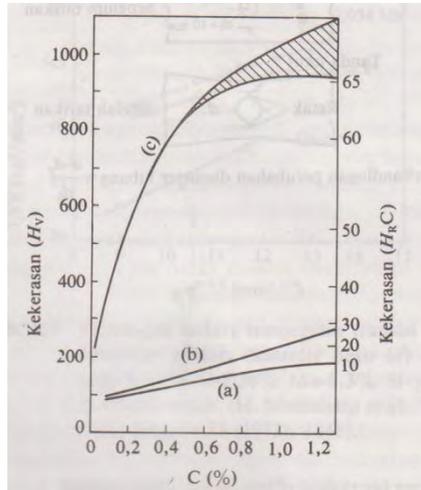
Pemanasan yang dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan austenit dengan butiran yang kasar. Jika didinginkan akan terbentuk struktur yang terlalu getas dan menyimpan tegangan yang besar. Hal ini terjadi ketika proses pendinginan terdapat perbedaan temperatur antara bagian dalam benda dengan permukaannya sehingga menimbulkan distorsi bahkan retak.

2.2.4.1 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.

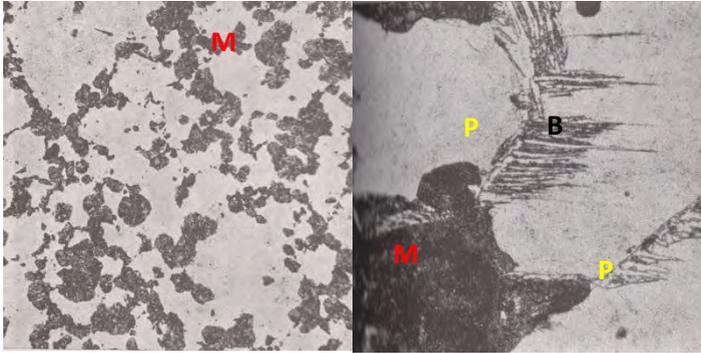
Baja ST 41 merupakan baja *hypoeutektoid* yang memiliki temperatur pemanasan sampai pada $820^{\circ} - 870^{\circ}\text{C}$. Ketika baja ini dipanaskan kemudian didinginkan dengan cepat maka pada temperatur yang rendah austenit tidak stabil dan cenderung untuk berubah dari FCC menjadi BCC. Hal ini diakibatkan 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. Kekerasan martensit dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.12 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, temperatur media pendingin, dan kuatnya sirkulasi atau olakan pada media pendingin. Struktur mikro yang terbentuk ditunjukkan pada gambar 2.11 (a) namun dapat juga struktur yang terbentuk terdiri dari *fine perlite*, bainit dan martensit (putih) seperti pada gambar 2.11 (b).



Gambar 2.14 Struktur mikro pada pendinginan kontinyu (a) *fine pearlite* (bulat gelap) dan martensit (putih) (b) *fine pearlite* dengan beberapa bainit dan martensit [4]

2.2.4.2 Proses Temper Pada Baja

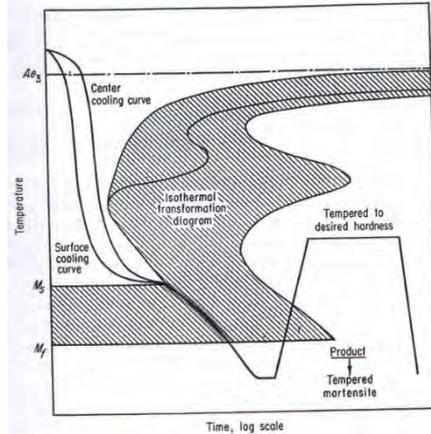
Baja yang dikeraskan dengan proses quench akan memiliki struktur martensit yang tidak hanya sangat keras tetapi juga getas. Dengan memanaskan kembali, martensit pada baja akan bertransformasi menjadi produk yang lebih ulet dan tangguh.

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 temper ini akan terbentuk struktur BCC, yang terbentuk dengan keluarnya atom karbon menghasilkan martensit temper 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.

2.2.4.3 Quench-Temper

Sesuai gambar 2.15 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.



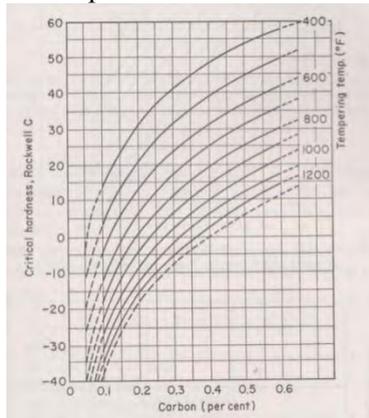
Gambar 2.15 Skema proses perlakuan panas quench-temper [7]

Pada proses ini seringkali menghasilkan struktur mikro yang disebut martensit temper (*tempered martensite*) yang merupakan hasil transformasi dari austenit dan martensit.

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*).

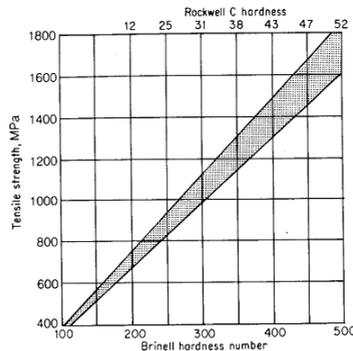
Tingginya temperatur pemanasan dan lamanya waktu penahan (*holding time*) sangat menentukan kekerasan yang terjadi setelah proses temper. Gambar 2.16 menunjukkan hubungan antara kekerasan yang terjadi setelah proses temper. Pada gambar

juga diperlihatkan kurva kekerasan untuk proses temper dengan berbagai temperatur temper.



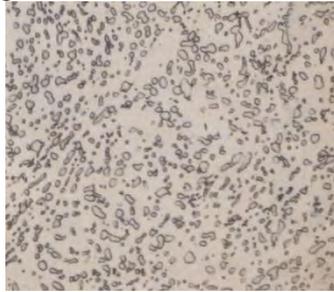
Gambar 2.16 Grafik hubungan kekerasan dengan temperatur temper[4]

Pada baja hasil quench-temper, *annealing*, dan *normalizing* dengan meningkatnya kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan tarik yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.14 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada baja hasil quench-temper, *annealing*, dan *normalizing*[11]

Perlakuan panas quench yang dilanjutkan dengan perlakuan panas temper dengan temperatur temper yang mencapai 1200-1300°F dapat menghasilkan *spherodized cementite* yang dapat dilihat pada gambar 2.18 di bawah ini.



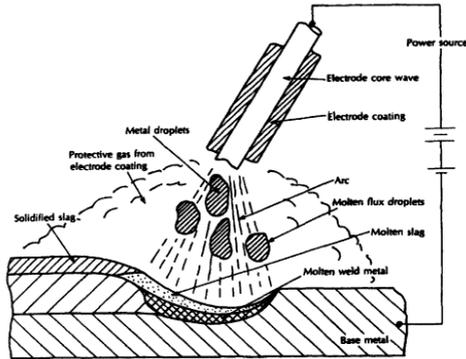
Gambar 2.17 Baja AISI 1040 austenitiasi pada temperatur 802°C waktu penahanan selama 40 menit dan di temper selama 6 jam. Menghasilkan *spherodized carbide* dengan matrik ferit[12]

2.2.5 Pengelasan

2.2.5.1 Pengelasan SMAW

Las busur elektroda terbungkus atau *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah cara pengelasan yang menggunakan busur listrik dimana elektroda yang dipakai terbungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur listrik ini, maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Skema pengelasan SMAW dapat diamati pada Gambar 2.1 dimana gambar ini mengacu pada arus dc. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda

mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa medan magnet busur listrik yang terjadi .



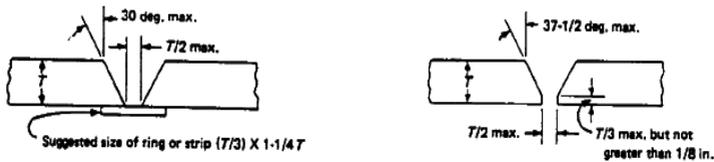
Gambar 2.18 pengelasan SMAW[6].

2.2.5.2. Pengelasan pada baja ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10)

Akibat dari proses produksi dengan menggunakan pengecoran baja ini sering mengalami cacat berupa retak, sehingga perlu adanya repair. Mekanisme repair pada baja ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10) mengacu pada ASTM A488 [2]. Adapun welding prosedur dan ukuran groove pada ASTM A488 dapat dilihat pada tabel 2.2 dan pada gambar 2.19 berikut.

Tabel 2.2 Standar pengelasan ASTM A488.

Thickness, t , of Test Plate or Pipe as Welded, in. [mm]	Thickness Qualified
Up to $\frac{3}{8}$ [9.5], incl	$2t$
Over $\frac{3}{8}$ [9.5], under $\frac{3}{4}$ [19.0] ^B	$2t$
Over $\frac{3}{8}$ [9.5], under $\frac{3}{4}$ [19.0] ^B	$2t$
$\frac{3}{4}$ [19.0], and over	max to be welded



Gambar 2.19 Ukuran groove untuk repair welding baja ASTM 217 WC9 (G17CrMo9-10) [6].

2.2.5.3 Arus Listrik Pada Proses Pengelasan

Besar arus dan tegangan listrik yang digunakan dalam pengelasan harus diatur sesuai kebutuhan. Daya yang dibutuhkan untuk pengelasan tergantung dari besarnya arus dan tegangan listrik yang digunakan. Tidak ada aturan pasti besar tegangan listrik pada mesin las yang digunakan. Hal ini berhubungan dengan keselamatan kerja operator las tubuh manusia tidak akan mampu menahan arus listrik dengan tegangan yang tinggi. Tegangan listrik yang digunakan pada mesin las (tegangan pada ujung terminal) berkisar 55 volt sampai 85 volt. Tegangan ini disebut sebagai tegangan pembakaran. Bila nyala busur listrik sudah terjadi maka tegangan turun menjadi 20 volt sampai 40 volt. Tegangan ini disebut dengan tegangan kerja. Besar kecilnya tegangan kerja yang terjadi tergantung dari besar kecilnya diameter elektroda. Semakin besar arus yang terjadi. Dengan alasan diatas maka pada mesin las pengaturan yang dilakukan hanya besar arusnya saja. Pengaturan besar kecilnya arus dilakukan dengan cara memutar tombol pengatur arus. Besar arus yang digunakan dapat dilihat pada skala yang ditunjukkan oleh amperemeter (alat untuk mengukur besar arus listrik) yang terletak pada mesin las. Pada masing-masing las, arus minimum dan arus maksimum yang dapat dicapai berbeda-beda, pada umumnya berkisar 100 ampere sampai 600 ampere. Pemilihan besar arus listrik tergantung dari beberapa faktor, antara lain:

diameter elektroda yang digunakan, tebal benda kerja, jenis elektroda yang digunakan, polaritas kutub -kutubnya dan posisi pengelasan[9].

2.2.5.4 Karakteristik Listrik (Electrical Characteristic)

Sumber arus listrik dinyatakan dalam arus AC atau DC. Jika DC, polaritasnya juga harus ditentukan. Untuk menentukan sumber arus listrik apa dan polaritas yang mana yang dipakai perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

A. Arus DC (direct current)

- Aliran : Continue pada satu arah, jadi busur nyala steady.
- Voltage drop : Sensitif terhadap panjang kabel, kabel sependek mungkin.
- Current diameter elektrode : Dapat dipakai untuk arus kecil dengan kecil.
- Elektrode : Semua jenis elektrode dapat dipakai.
- Arc Starting : Lebih mudah, terutama untuk arus kecil.
- Pole : Dapat dipertukarkan.
- Arc bow : Sensitif terhadap bagian-bagian pada ujung-ujung, sudut- sudut atau bagian yang banyak lekuk-lekuknya.

B. Arus AC (Alternating Current)

- Voltage drop : Panjang kabel tidak banyak pengaruhnya.
- Current : Kurang cocok untuk low current
- Elektrode : Tidak semua jenis elektrode dapat dipakai
- Arc Starting : Lebih Sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.
- Pole : Tidak dapat dipertukarkan.
- Arc bow : Tidak merupakan masalah.

2.2.5.4.1 Polaritas Lurus (DCSP/DCEN)

Apabila material dasar atau material yang akan dilas disambung kan dengan kutup positif (+) dan elektrodanya disambungkan dengan kutup negatif (-) pada mesin las DC maka cara ini disebut pengelasan polaritas lurus atau DCSP (Direct Current Straight Polarity), ada juga yang menyebutkan DCEN. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar sehingga tumbukan elektron berada di material dasar yang berakibat 1/3 panas berada di material dasar dan 2/3 panas berada di elektroda.

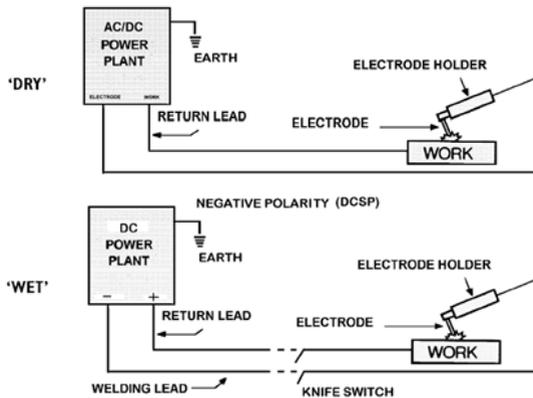


Figure 1 A typical welding circuit diagram, for surface welding (top) and wet welding (bottom).

Gambar 2.20 Polaritas lurus dan balik pada las SMAW

Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam, sehingga baik digunakan pada pengelasan yang lambat serta manik las yang sempit dan untuk pelat yang tebal.

2.2.5.4.2 Polaritas Balik (DCRP/DCEP)

Dengan proses pengelasan cara ini material dasar disambungkan dengan kutup negatif (-) dan elektrodanya disambungkan dengan kutup positif (+) dari mesin las DC, dan disebut DCRP (Direct Current Reversed Polarity) ada juga yang menyebutkan DCEP. Busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan tumbukan elektron berada di elektrode yang berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal,

serta baik digunakan pada pengelasan pelat tipis dengan manik las yang lebar.

2.2.5.4 Elektroda (*electrode*)

Sebagian besar elektrode las SMAW dilapisi oleh lapisan flux, yang berfungsi sebagai pembentuk gas yang melindungi cairan logam dari kontaminasi udara sekelilingnya. Selain itu flux berguna juga untuk membentuk terak las yang juga berfungsi melindungi cairan las dari udara sekelilingnya. Lapisan elektrode ini merupakan campuran kimia yang komposisinya sesuai dengan kebutuhan pengelasan. Menurut AWS (*American Welding Society*) elektrode diklasifikasikan dengan huruf E dan diikuti empat atau lima digit sebagai berikut E xxxx (x) . Dua digit yang pertama atau tiga digit menunjukkan kuat tarik hasil las tiga digit menunjukkan kuat tarik lebih dari 100.000 psi sedangkan dua digit menunjukkan kuat tarik hasil lasan kurang dari 100.000 psi.

Sebagai contoh elektrode E 6013 mempunyai kuat tarik 60.000 psi (42 Kg/mm²). Sedangkan angka digit ketiga atau keempat bagi yang kuat tariknya lebih besar 100.000 psi (70 Kg/mm²) digit selanjutnya menunjukan posisi pengelasan, apabila angkanya 1 berarti untuk segala posisi.pengelasan, angka 2 berarti las datar atau horisonta 1 dan angka 3 menunjukan untuk pengelasan datar saja. Digit yang terakhir menunjukan jenis dari campuran kimia dari lapisan elektrode .

Diameter elektroda dalam mm	Tipe Elektroda dan Besarnya Arus dalam Ampere					
	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,5		80-125	70-100	100-145		
3,2	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	120-160	150-210	160-220	180-260	180-240	180-250
5	160-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-305
5,5		260-340	260-340	275-285	250-350	275-365
6,3		330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8		390-500	375-470			

Gambar 2.21 Jenis elektroda terhadap besar arus yang diberikan [6].

2.2.5.4 Perbandingan kekerasan pada Pengelasan SMAW

Pada proses pengelasan SMAW, terdapat pembagian daerah pada material yang mengalami proses pengelasan. Daerah tersebut biasa disebut daerah logam las (*weld metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan logam induk (*base metal*).

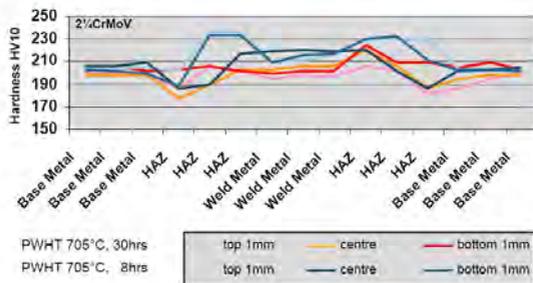
Daerah logam las (*weld metal*) merupakan daerah yang berdeformasi ketika dilas karena mengalami pemanasan dan tekanan yang tinggi. Kualitas dari logam las tergantung pada kualitas dari *filler*, dimana *filler* yang berkualitas akan menghasilkan logam las yang memiliki sifat metalurgi yang baik.

Daerah terpengaruh panas (*HAZ*) merupakan daerah las yang tidak mengalami fasa cair, tetapi temperature tinggi yang dialami menyebabkan proses perlakuan panas yang dapat merubah strukturnya dari struktur logam induk. Adanya pengaruh panas dari logam las menyebabkan terjadi proses perubahan struktur mikro, sehingga sifat-sifat yang dimiliki pada daerah ini tidak sama dengan logam induk. Daerah tidak terpengaruh panas merupakan daerah logam induk yang tidak mengalami perubahan struktur meskipun mengalami perubahan temperatur pada saat

proses pengelasan. Pada daerah ini logam induk tidak mengalami perubahan fasa, sifatnya adalah sama dengan logam induk.

Sifat metalurgi setiap daerah memiliki karakteristik berbeda-beda. Perbedaan ini bergantung pada temperature saat proses pengelasan. Biasanya logam las memiliki kekuatan tarik yang paling besar, namun memiliki kekerasan yang lebih rendah. Hubungan kekerasan dengan daerah base metal, weld metal dan HAZ dapat digambarkan sebagai berikut:

Influence of PWHT on Vickers-hardness of the welded joint for 2.25CrMoV



Gambar 2.22 Ilustrasi perbedaan kekerasan dan Sifat Metalurgi Proses Pengelasan[6]

Pada gambar diatas dijelaskan bahwa pada daerah base metal pada indentasi tengah, posisi atas 1mm dari tengah, dan posisi bawah 1mm dari tengah mengalami kekerasan yang berkisar antara 190-210HV, sedangkan pada daerah HAZ pada ketiga indentasi rata-rata mengalami kenaikan hingga 230HV, dan kekerasan turun pada daerah Weld metal pada kisaran 210-230HV. Gambar diatas merupakan pengelasan multilayer dengan material baja CrMo sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

2.2.5.5 Metalurgi Las

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau

logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dengan menggunakan energypanas disertai dengan atau tanpa tekanan dan material tambahan (filler).

Struktur mikro logam mempengaruhi sifat mekanisnya. Struktur mikro sangat dipengaruhi oleh proses pemanasan dan pendinginan. Penambahan logam pengisi pada proses pengelasan akan mengubah struktur mikro yang terjadi sehingga akan berpengaruh pada sifat mekanisnya.

Sambungan las secara umum dapat dibagi menjadi 3 daerah, yaitu logam las, HAZ dan logam induk. Logam las adalah logam pengisi (filler) dan sebagian logam induk yang pada saat pengelasan mengalami pencairan kemudian membeku. HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas dari sebuah proses pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro. Logam induk adalah logam dasar yang tidak mengalami perubahan struktur mikro.

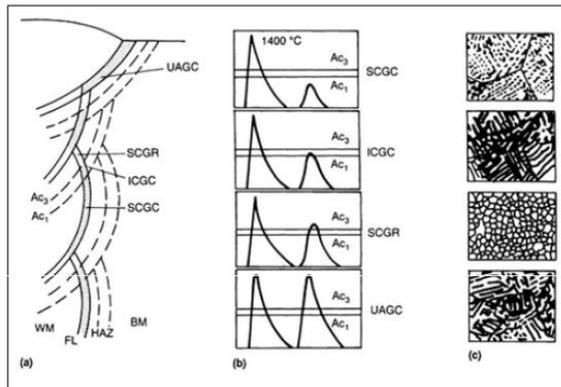
Input panas berhubungan dengan temperature puncak yang dicapai serta kecepatan pemanasan dan pendinginan dari masing-masing daerah. Daerah dekat lapisan logam las akan mengalami temperature yang tinggi dengan laju pemanasan dan pendinginan yang cepat. Dan daerah yang jauh akan berada pada suatu temperature puncak medium dengan laju akan berada pada suatu temperature puncak medium dengan laju pemanasan dan pendinginan yang lebih relative lebih lambat. Daerah yang jauh dari logam las akan mengalami temperature puncak yang rendah dengan laju pemanasan dan pendinginan yang lebih lambat lagi

Temperature puncak yang dicapai daerah HAZ bisa lebih dari temperature AC3 dengan laju pemanasan yang sangat besar dalam waktu singkat. Hal tersebut menyebabkan butiran austenite yang dihasilkan di daerah HAZ menjadi kasar. Daerah HAZ dengan butiran kasar ini disebut grain coarsened zone (GC HAZ). GC HAZ memiliki ketangguhan yang paling rendah dibandingkan dengan daerah lainnya. Pengelasan bisa dilakukan dengan beberapa layer. Pengelasan layer kedua seakan-akan memberikan

panas pada layer pertama sehingga layer tersebut seolah mengalami postheat. Layer ketiga mengalami preheat dari panas layerkedua dan fenomena tersebut akan berulang hingga layer terakhir .GC HAZ pada pengelasan multi layer berubah sesuai dengan temperature pemanasan yang dialami dan dapat dikategorikan menjadi 4 daerah, yaitu:

1. Subcritically reheated grain-coarsened zone (SCGC) daerah yang mengalami pemanasan dibawah temperature AC1
2. Intercritically reheated grain-coarsened zone (ICGC), daerah yang mengalami pemanasan diantara AC1 dan AC3.
3. Supercritically reheated grain-refined zone (SCGR), daerah yang mengalami pemanasan diatas AC3.
4. Unaltered grain-coarsened zone (UAGC) daerah yang mengalami pemanasan lebih dari 1200°C

Keempat daerah tersebut diatas ditunjukkan seperti gambar 2.23 berikut



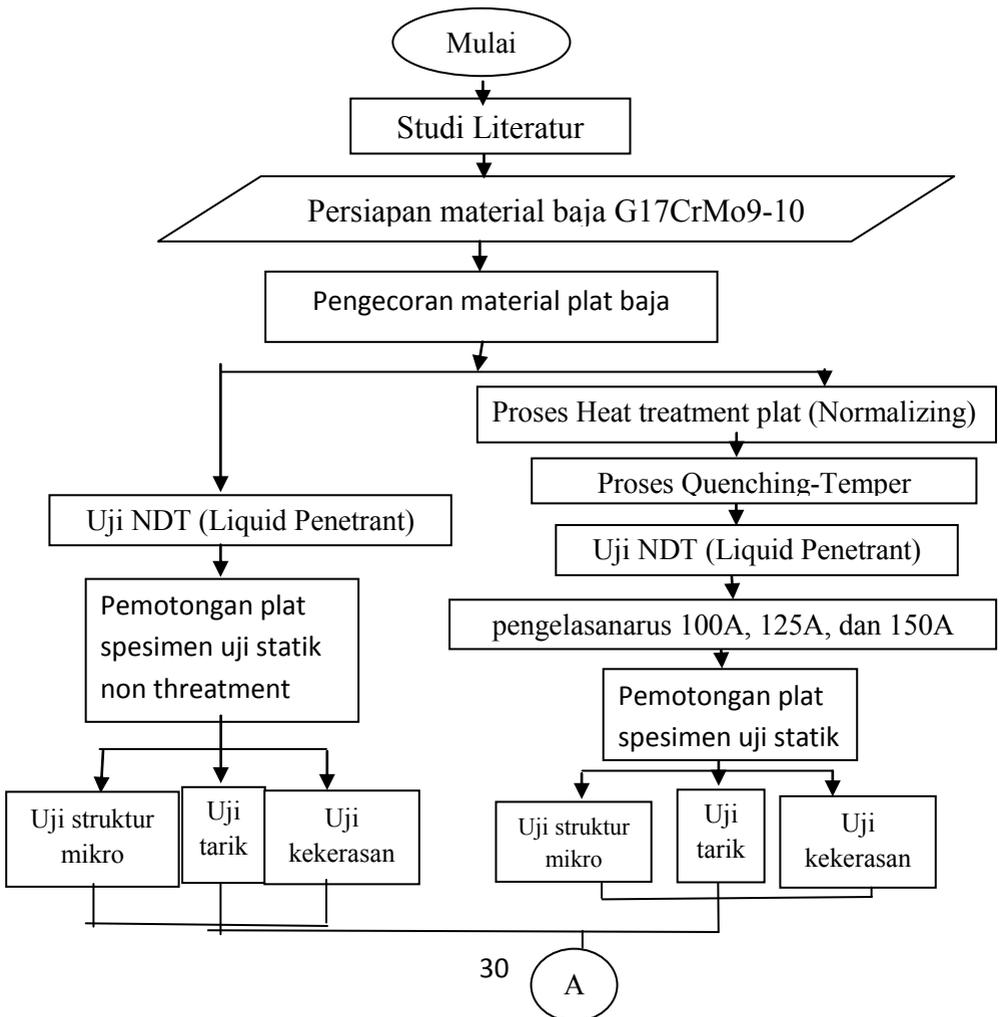
Gambar 2.23 sub daerah yang terbentuk pada pengelasan multilayer (a) letak sub daerah relative terhadap logam induk dan logam las, (b) siklus termal relative terhadap AC3, dan AC1 ,(c) struktur mikro dari masing-masing daerah untuk baja carbon rendah

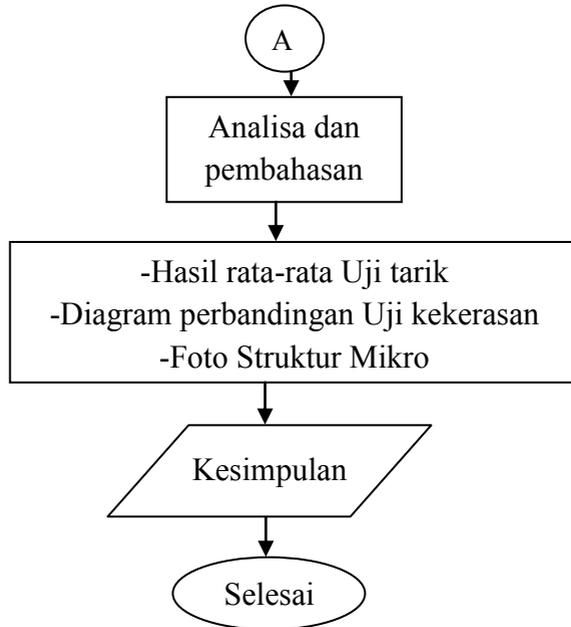
BAB 3

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:





Gambar 3.1 Diagram alirpercobaan.

3.2 Material Benda Uji

Benda uji pada penelitian yang digunakan adalah baja G17CrMo9-10, adapun baja tersebut merupakan material untuk pembuatan turbin uap, berdasarkan standarnya baja bahan turbin termasuk dalam ASTM 217 WC9 yaitu baja cor untuk penggunaan temperature tinggi, dengan komposisi paduan utama Mn dan Cr. Komposisi kimia baja turbin yang ditetapkan oleh standar ASTM 217 WC9 ditunjukkan pada tabel 3.1.

Spesimen yang digunakan merupakan sample dari sebagian besar inlet casing turbin yang akan dicor dalam skala besar. Maka dari itu ukuran dari specimen disesuaikan dengan standar ASTM A488, dimana dimensi yang ditetapkan sudah pantas dianggap sebagai sample dari sebagian besar *inlet casing turbine*

Tabel 3.1 Komposisi kimia standar untuk baja ASTM 217 WC9[2].

Grade Identification Symbol	Composition, %									
	Carbon Molybdenum	Nickel Chromium Molybdenum	Nickel Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum	Chromium Molybdenum Vanadium	Chromium
	WC1	WC4	WC6	WC6	WC9	WC11	C5	C12	C12A	CA15
Carbon	0.25	0.05-0.20	0.05-0.20	0.05-0.20	0.05-0.16	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	0.020	0.04	0.04	0.020	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	0.80-1.00	...	...	...	...	...	0.40	1.00
Chromium	...	0.50-0.80	0.50-0.90	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
Vanadium	...	...	...	...	...	...	...	...	0.060-0.10	...
Nitrogen	...	...	...	...	...	...	...	...	0.030-0.070	...
					Specified Residual Elements					
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	...	...	0.35	0.35	0.35	0.35	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	...

Tabel 3.2 Sifat mekanik A488M-12[2]

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

3.2.1 Proses Pembuatan Spesimen Uji

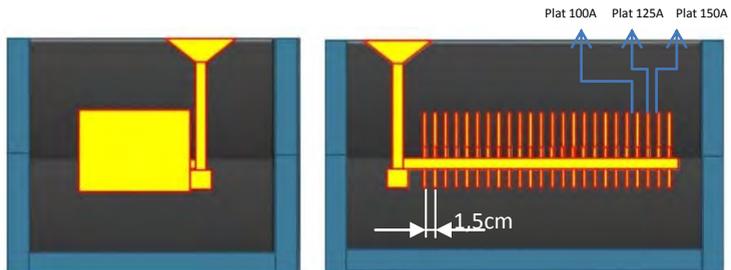
Proses pembuatan specimen uji adalah sebagai berikut :

(a) Pengecoran Plat

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

- Bahan dasar : Baja skrap
- Dapur : Induction Furnace (9,8 KA dan 6000 V)
- Suhu tuang : 1.608 C (Proses melting 4,5 jam)
- Cetakan : Cetakan pasir (*sand casting*)

Desain dari system saluran dari pengecoran terdiri dari 25 plat yang dibariskan secara horizontal dengan runner tanpa pengecilan luas penampang. Sistem saluran dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.3 Sistem saluran logam cair pada cetakan pasir

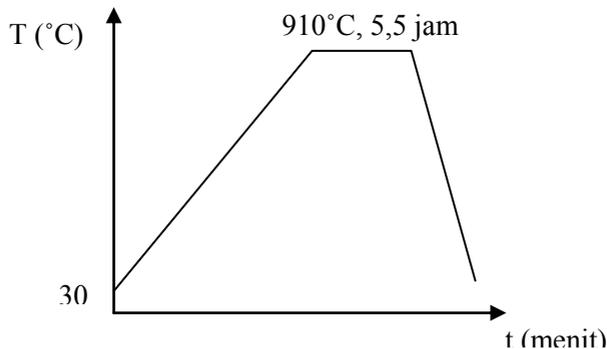
Dari proses pengecoran maka akan diperoleh 25 buah plat berdimensi 20 cm x 30 cm, dimana plat-plat tersebut masih tersambung dengan *gating system* pengecoran. Dari 25 plat yang dihasilkan 5 buah plat akan diproses secara langsung menjadi specimen uji awal *non treatment*. Sisa 20 plat lain akan mengalami proses lanjutan berupa perlakuan panas dan pengelasan sebelum dibentuk menjadi specimen uji.

(b) Normalizing Pada Plat

Proses *Normalizing* dilakukan pada 20 buah plat hasil dari pengecoran, setelah proses *anealling* selesai maka akan dilakukan pemotongan *gating system* yang masih menempel pada plat tersebut. Adapun parameter *anealling* yang dilakukan pada plat sebagai berikut:

- Suhu austenisasi : 910° C (Pendinginan udara)
- *Holding Time* : 5,5 jam.

Proses *anealing* pada plat lebih lanjut akan ditunjukkan pada gambar 3.3 sebagai berikut:



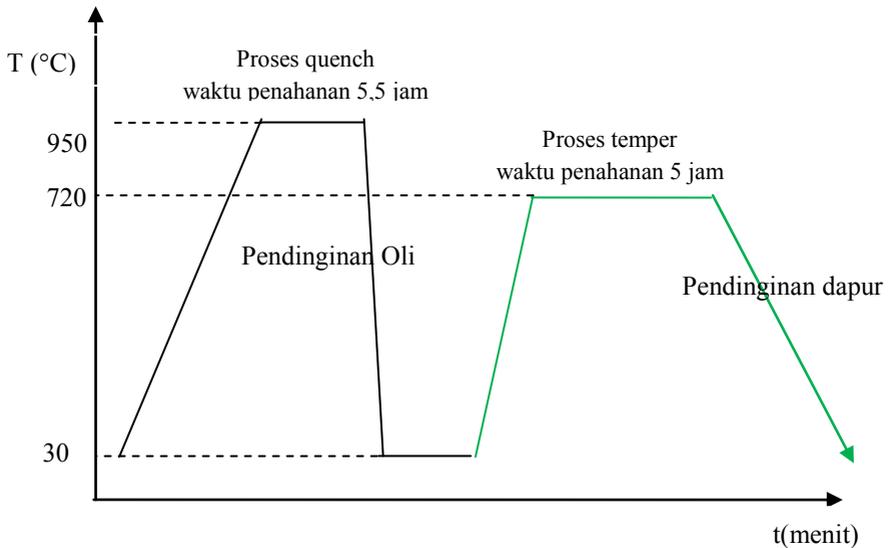
Gambar 3.4 Mekanisme Normalizing.

(c) Quenching-Temper Pada Plat

Proses berikutnya adalah quenching temper pada plat, parameter proses quenching temper adalah sebagai berikut:

- Suhu austenisasi Quenching : 950° C (pendinginan Oli)
- Suhu austenisasi Tempering : 720°C (pendinginan dapur)
- *Hoding time* Quenching : 5,5 jam.
- *Hoding time* Tempering : 5 jam.

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



Gambar 3.5 Mekanisme quench-temper

(d) Pengujian NDT (Liquid Penetrant)

Setelah baja di *heat treatment* maka plat baja diuji apakah ada crack atau tidak, plat yang diuji ada 5 plat yaitu 1 plat sebelum perlakuan panas, 1 plat setelah perlakuan panas dan 3 plat untuk specimen variasi arus 100A, 125A, dan 150A. Adapun uji *Non Destructive Test* yang dilakukan yaitu liquid penetrant dimana proses yang dilakukan sebagai berikut:

- Penyemprotan cairan penetrant pada seluruh permukaan plat
- Pengeringan 5 menit dan pembersihan penetrant dengan tissue
- Penyemprotan developer pada seluruh permukaan plat
- Pengeringan 3 menit hingga terlihat crack

(e) Proses Pengelasan Plat

Plat-plat yang telah mengalami perlakuan panas selanjutnya akan dipotong secara simetris menjadi 2 bagian menggunakan gergaji potong, dimana plat akan disambung kembali pada bagian yang terpotong dengan menggunakan las SMAW. Adapun parameter pengelasan adalah sebagai berikut:

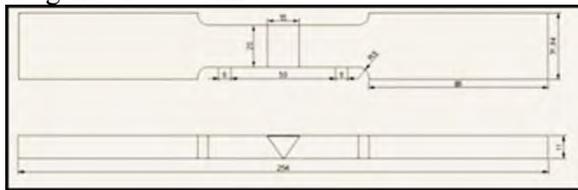
- Jenis las : SMAW
- Arus : 100 A, 130A , dan 150A
- Polaritas : DCEN
- Elektroda : E7016 (kekuatan tarik 580MPa)
- Diameter Elektroda : 3,2 mm
- Posisi : Flat.

Untuk pengelasan plat menggunakan metode multilayer dengan jumlah layer sebanyak 5 layer. Adapun WPS (*Welding Procedure Specification*) dari proses ini adalah sebagai berikut.

(f) Pembentukan specimen uji

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

- **Spesimen uji tarik**
Pembentukan specimen uji tarik mengacu ada standart ASTM A488, Dimensi specimen uji tarik ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.6 Spesimen uji tarik menurut standar ASTM 488 dalam satuan (mm) [6]

3.3 Peralatan

3.1 Peralatan pembentukan spesimen

Dalam proses pembuatan specimen diperlukan peralatan sebagai berikut:

- Kawat dan mesin las
- 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 lelah LFE-150
- 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, pengujian fatik dan struktur mikro. Hasil daripada pengujian specimen awal dengan specimen hasil threatment 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 standart komposisi material untuk bahan *inlet casing* turbin. Adapun standart acuan material inlet casing turbin adalah ASTM 217 WC 9. Pengujian dilakukan pada mesin uji spektro Foundry Master Pro. Berikut adalah gambar mesin uji spektro ditunjukkan pada gambar 3.7.

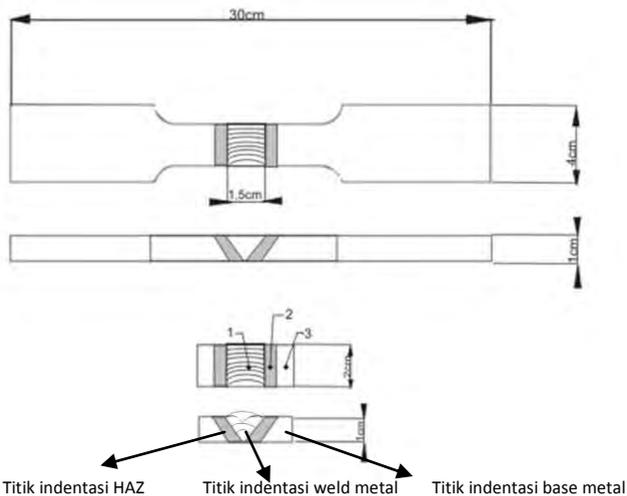


Gambar 3.7 Mesin uji spektro.

3.4.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan digital *Future Tech*. Sebelum dilakukan pengujian kekerasan maka specimen 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 baik pada material awal tanpa *treatment* ataupun pada material yang sudah mengalami perlakuan panas.

Daerah yang akan dilakukan indentasi pada material yang mengalami *trethment* adalah daerah base metal, HAZ dan daerah las, daerah tersebut dipilih sebagai daerah pengujian dikarenakan rentan mengalami perubahan dan perbedaan struktur mikro akibat pengelasan. Pada material awal indentasi hanya dilakukan pada satu titik di *base metal*. Penampang indentasi pada material uji ditunjukkan pada gambar 3.8. daerah pengelasan mempunyai lebar 1,5 cm, daerah HAZ digambarkan dengan warna abu-abu disekitar daerah pengelasan, dan daerah *base metal* diambil di luar daerah pengelasan dan HAZ.



Gambar 3.8 Penampang indentasi pengujian kekerasan.1 daerah weld metal, 2 daerah HAZ, dan 3 daerah base metal

Tabel 3.3 Hasil Uji kekerasan material awal dan material setelah heat threatment

No.	HasilUjikekerasan (HRC)	Rata-rata kekerasan (HRC)
1		
2		

3		
---	--	--

Tabel 3.4 Hasil Uji kekerasan material setelah heat treatment dan pengelasan

Posisi	No.	Hasil Uji kekerasan (HRC)	Rata-rata kekerasan (HRC)
HAZ	1		
	2		
	3		
Las	1		
	2		
	3		
Base metal	1		
	2		
	3		

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.

Dimensi specimen uji tarik yang akan digunakan ditunjukkan pada gambar sesuai dengan standar ASTM yang ada digambar 3.3. Uji tarik yang dilakukan akan dijadikan acuan pembebanan pada uji lelah beserta pengujian statik lain seperti uji kekerasan dan struktur mikro, adapun rancangan table pengujian static ditunjukkan pada tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Tabel hasil uji tarik untuk semua material.

A.	Dimensi Spesimen	Spesimen Ke		
		I	II	III
	Tebal, to (mm)			
	Lebar, Wo (mm)			
	Luas Penampang, Ao (mm ²)			

	Panjang Total, Lt (mm)			
	Gauge length Lo (mm)			
B	Hasil Pengujian			
	Beban Maksimum (kN)			
	ΔL saat patah (mm)			
	Gauge length setelah patah, L1 (mm)			
	Tebal setelah patah, t1 (mm)			
	Lebar setelah patah, W1 (mm)			

3.4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro specimen 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. Pada proses ini kertas gosok yang digunakan mulai grit 80, 100, 150, 180, 300, 400, 800, 1000, 1200, 1500 sampai 2000.

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.

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% nitrat selama 2-4 detik. Larutan ini dipakai karena memiliki kemampuan baik untuk menunjukkan struktur martensit.

4. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan 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 specimen hasil *treatment* dilakukan pada tiga titik pengamatan yaitu di titik tengah las, HAZ dan *base metal*, sedangkan pada specimen awal *non treatment* hanya dilakukan pada satu titik. Pengamatan dilakukan dengan cara pengambilan gambar dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan komputer sehingga mampu menangkap gambar secara digital. Spesimen yang telah dietsa, dikeringkan baru kemudian di foto dengan perbesaran 100 X.

BAB 4

DATA HASIL PENELITIAN

1.1 Hasil Pengujian Spektro

Setelah specimen terbentuk sesuai dengan pengujian yang ditentukan, perlu dilakukan uji spektro untuk memastikan bahwa spesimen memiliki prosentase unsur yang sesuai dengan yang ditetapkan, pengujian spektrografi dilakukan sebanyak 8 kali pada 8 titik yang berbeda, hal ini dilakukankarena pada hasil uji spektro pada pengambilan pertama hingga ke-enam belum bisa mencapai komposisi yang diharapkan yaitu kadar chrome dan molybdenum yang tinggi.

Pengambilan data dilakukan dengan menembakkan sinar spektro sebanyak dua kali pada permukaan yang berbeda. Hasil uji spektro didapatkan pada tabel 4.1

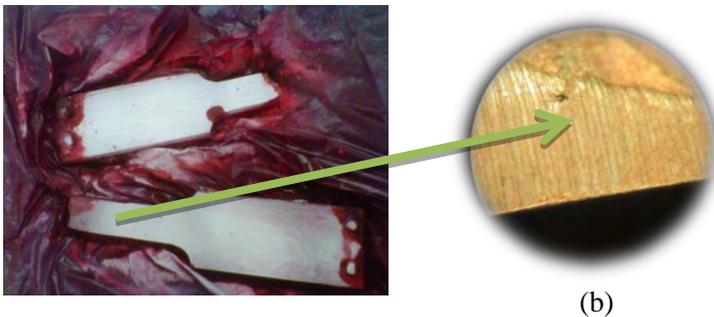
Tabel 4.1 Tabel hasil uji spektro

Komposisi Kimia	Standar ASTM 217 WC9	Hasil Uji spektro
C	0,13-0,20	0,20
Si	0,50-MAX	0,32
Mn	0,50-0,90	0,72
P	0,02-MAX	0,02
S	0,02-MAX	0,02
Cr	2,00-2,50	2,18
Ni	0,50-MAX	0,54
Mo	0,90-1,20	0,95
Cu	0,30-MAX	0,50
Ti	0,025-MAX	0,025
Al	0,04-MAX	0,08

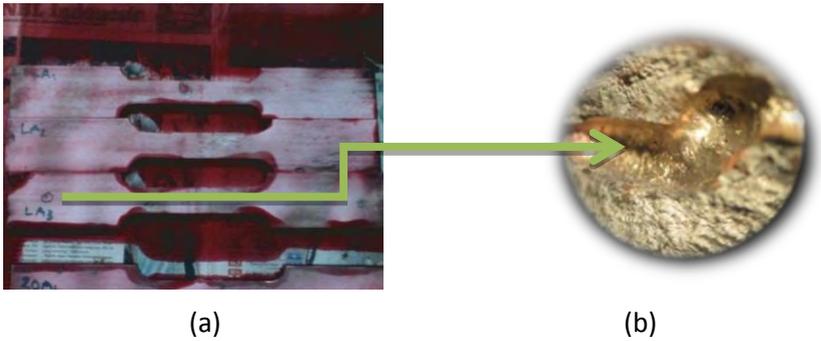
Dari Hasil uji spektro diatas didapatkan pada data terakhir prosentase unsur kimia yang didapat memenuhi spesifikasi yang sesuai standar yaitu komposisi chrome tinggi dan molybdenum tinggi, dari data diatas didapatkan prosentase chrome mencapai 2.57, sedangkan prosentase molybdenum mencapai 0.912

1.2 Hasil Pengujian Non Destructive Test

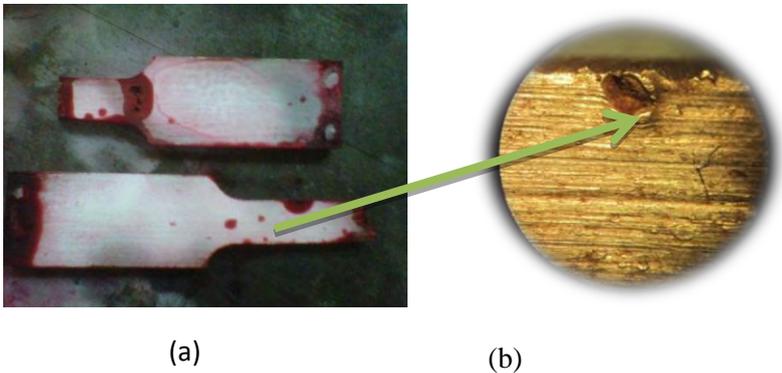
Sebelum specimen diuji kekerasan dan struktur mikro maka specimen harus diuji NDT terlebih dahulu untuk membuktikan apakah specimen terdapat cacat yang mempengaruhi sifat mekanik . Setelah dilakukan beberapa pengujian seperti *magnetic particle*, *ultrasonic*, dan *liquid penetrant* ,pengujian yang paling menghasilkan hasil yang signifikan adalah *liquid penetrant* dengan hasil data didapatkan beberapa cacat yang dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3



(a)
Gambar 4.1 Pengujian liquid penetrant specimen pengelasan 100A(a) perbesaran cacat 10x(b)



Gambar 4.2 Pengujian liquid penetrant specimen pengelasan 125A (a) perbesaran cacat 10x(b)



Gambar 4.3 Pengujian liquid penetrant specimen pengelasan 150A(a) perbesaran cacat 10x(b)

Dari pengujian NDT liquid penetrant didapatkan cacat pada setiap specimen, untuk specimen material dengan perlakuan panas dan pengelasan 100A diambil dari posisi plat ke 22 pada cetakan, sedangkan pada pengelasan 125A diambil dari posisi ke

23, dan pengelasan 150A diambil dari posisi 24. Adapun hasil dari uji NDT yaitu spesimen las 100A sebanyak 10 cacat, spesimen las 125A sebanyak 12 cacat sedangkan spesimen las 150A sebanyak 15 cacat.

1.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dibutuhkan untuk mengetahui adanya perbedaan kekerasan pada setiap specimen yang mengalami variasi dalam perlakuannya. Dari uji kekerasan ini akan diketahui specimen manakah diantara material awal tanpa perlakuan panas, material yang sudah diberi perlakuan panas (annealing dan quench-tempering) tanpa diberi pengelasan dan material yang diberi perlakuan serta diberi proses pengelasan yang memiliki kekerasan paling tinggi dan memiliki kekerasan yang paling rendah.

Alat yang digunakan untuk uji kekerasan menggunakan future tech automatic ,alat ini dapat mendeteksi kekerasan dengan output salah satu dari satuan Rockwell HRC, HRB, HRA, HR . Proses yang dilakukan sesuai dengan metodologi pada bab 3 dengan mengatur satuan HRC untuk material awal dan material setelah diberi perlakuan panas dan Vickers (HVN) pada specimen pengelasan .

1.3.1 Kekerasan pada material sebelum perlakuan panas

Berikut adalah hasil dari pengujian kekerasan untuk material awal tanpa perlakuan panas dan proses pengelasan. Spesimen uji kekerasan dari material awal diambil dari plat pada posisi cetakan urutan terakhir atau posisi 25. Hasil pengujian kekerasan didapatkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Kekerasan Material Awal Tanpa Perlakuan Panas

No.	Hasil Uji kekerasan (HRC)	Rata-rata kekerasan (HRC)
1	33,23	32,61
2	31,99	
3	32,20	

1.3.2 Kekerasan pada material setelah perlakuan panas

Berikut adalah hasil dari pengujian kekerasan untuk material setelah mendapatkan perlakuan panas berupa normalizing, quench-temper. Spesimen uji kekerasan dari material setelah perlakuan panas diambil dari plat pada posisi cetakan urutan pada posisi 21. Hasil pengujian kekerasan didapatkan pada tabel dibawah

Tabel 4.3 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas

No.	Hasil Uji kekerasan (HRC)	Rata-rata kekerasan (HRC)
1	9,83	13,49
2	16,78	
3	13,88	

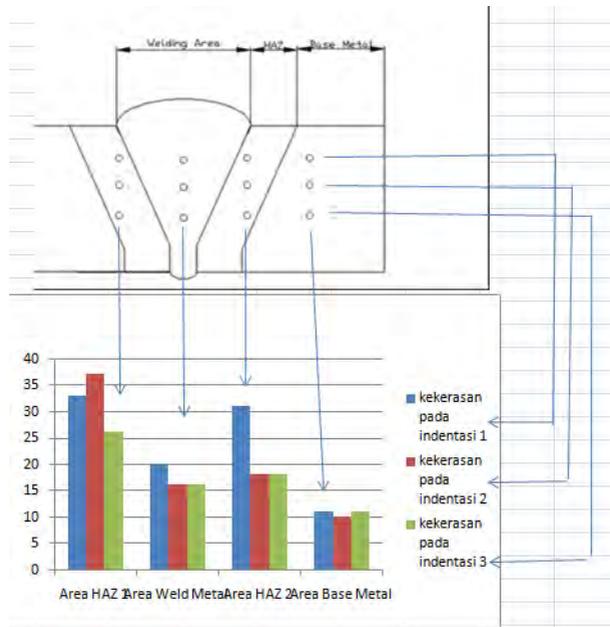
1.3.3 Kekerasan pada material pengelasan 100A

Berikut adalah hasil dari pengujian kekerasan untuk material setelah mendapatkan perlakuan panas berupa normalizing, quench-temper dan proses pengelasan dengan arus 100 Ampere. Spesimen uji kekerasan dari material pengelasan 100A diambil dari plat pada posisi cetakan urutan posisi 22. Hasil pengujian kekerasan didapatkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas dan Pengelasan Arus 100 A

Posisi	Indentasi	rata-rata d	HVN	HRC
Weld	1	0.295	213.0882	15
	2	0.285	228.3041	18
	3	0.295	213.0882	15
HAZ 1	1	0.24	321.9444	33
	2	0.25	296.704	30
	3	0.28	236.5306	20
HAZ 2	1	0.23	350.5482	36
	2	0.24	321.9444	32
	3	0.225	366.3012	37
Base	1	0.295	213.0882	15
	2	0.3	206.0444	13
	3	0.295	213.0882	15

Adapun grafik dari table yang didapat sesuai dengan posisi indentasi maupun area pengelasan, HAZ, dan Base metal didapatkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik kekerasan pada daerah pengelasan, HAZ, dan base metal sesuai indentasi 1,2,dan 3 pada specimen pengelasan 100A plat posisi 22

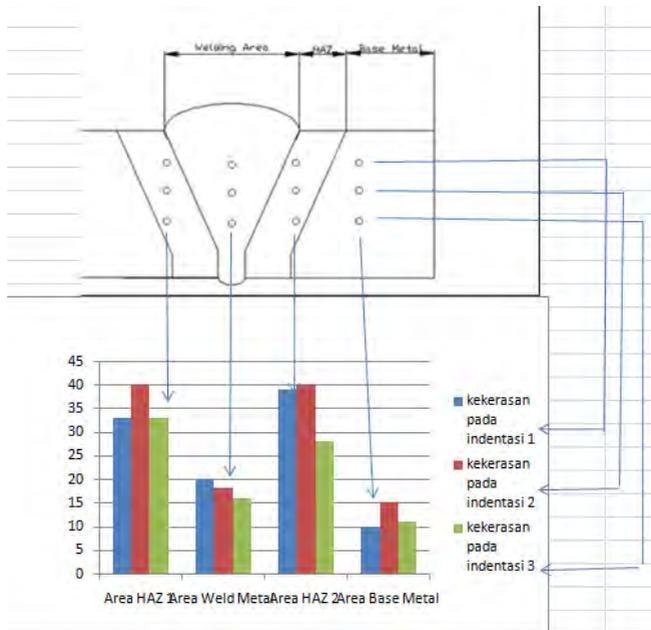
1.3.4 Kekerasan pada material pengelasan 125A

Berikut adalah hasil dari pengujian kekerasan untuk material setelah mendapatkan perlakuan panas berupa normalizing, quench-temper dan proses pengelasan dengan arus 125 Ampere. Spesimen uji kekerasan dari material pengelasan 125A diambil dari plat pada posisi cetakan urutan posisi 23. Hasil pengujian kekerasan didapatkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas dan Pengelasan Arus 125 A

Posisi	Indentasi	rata-rata d	HVN	HRC
Weld	1	0.28	236.5306	20
	2	0.285	228.3041	18
	3	0.29	220.4994	16
HAZ 1	1	0.24	321.9444	33
	2	0.215	401.1682	40
	3	0.24	321.9444	33
HAZ 2	1	0.22	383.1405	39
	2	0.215	401.1682	40
	3	0.255	285.1826	28
Base	1	0.31	192.9657	10
	2	0.295	213.0882	15
	3	0.305	199.3443	11

Adapun grafik dari table yang didapat sesuai dengan posisi indentasi maupun area pengelasan, HAZ, dan Base metal didapatkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik kekerasan pada daerah pengelasan, HAZ, dan base metal sesuai indentasi 1,2,dan 3 pada specimen pengelasan 125A plat posisi 23

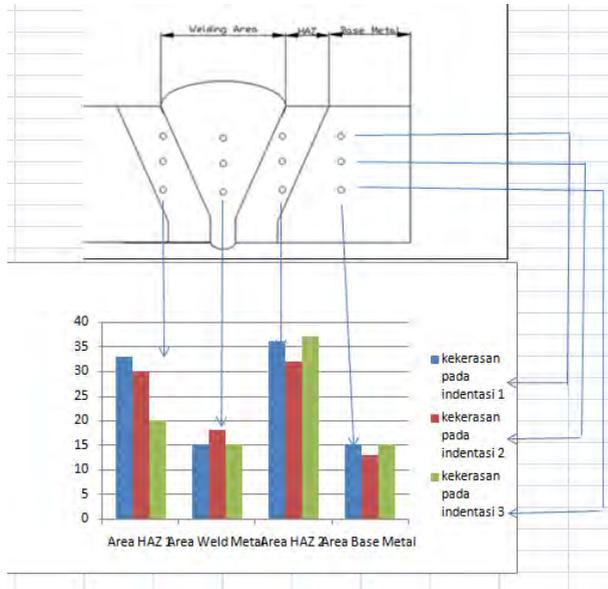
1.3.5 Kekerasan pada material pengelasan 150A

Berikut adalah hasil dari pengujian kekerasan untuk material setelah mendapatkan perlakuan panas berupa normalizing, quench-temper dan proses pengelasan dengan arus 150 Ampere. Spesimen uji kekerasan dari material pengelasan 150A diambil dari plat pada posisi cetakan urutan posisi 24. Hasil pengujian kekerasan didapatkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Kekerasan Material Setelah Proses Perlakuan Panas dan Pengelasan Arus 150 A

Posisi	Indentasi	rata-rata d	HVN	HRC
Weld	1	0.28	236.5306	20
	2	0.29	220.4994	16
	3	0.29	220.4994	16
HAZ 1	1	0.24	321.9444	33
	2	0.225	366.3012	37
	3	0.26	274.3195	26
HAZ 2	1	0.245	308.9379	31
	2	0.285	228.3041	18
	3	0.285	228.3041	18
Base	1	0.305	199.3443	11
	2	0.31	192.9657	10
	3	0.305	199.3443	11

Adapun grafik dari table yang didapat sesuai dengan posisi indentasi maupun area pengelasan, HAZ, dan Base metal didapatkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik kekerasan pada daerah pengelasan, HAZ, dan base metal sesuai indentasi 1,2,dan 3 pada specimen pengelasan 150A plat posisi 24

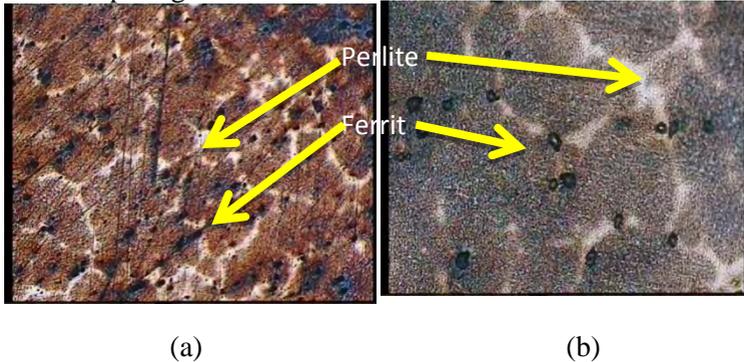
4.4 Hasil Uji Struktur Mikro

Dari proses yang dilakukan berdasarkan metodologi pada bab 3 maka material yang sudah di etsa diletakkan pada mikroskop axio. berikut adalah gambar mesin mikroskop axio yang digunakan

Mikroskop axio ini secara langsung dapat terhubung dengan layar computer, dengan perbesaran lensa 10 kali dan 50 kali maka hasil dari struktur mikro adalah sebagai berikut

4.4.1 Hasil struktur mikro material awal

Didapatkan paterial awal specimen memiliki fenomena seperti gambar 4.7

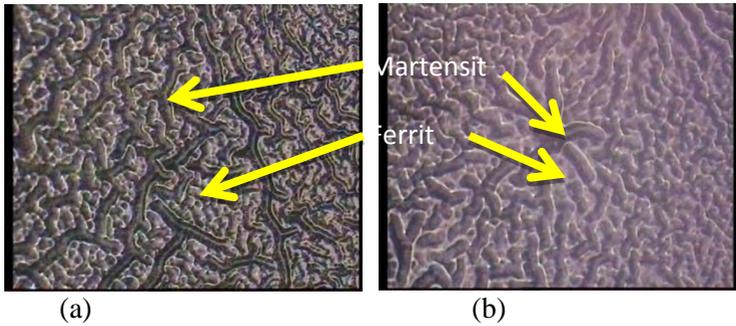


Gambar 4.7 struktur mikro spesimen awal perbesaran 10 x(a), dan 50 x (b) plat posisi 25

Dari gambar struktur mikro diatas dapat dilihat bahwa struktur mikro memiliki komposisi berupa perlite dan ferrit.

4.4.2 Hasil struktur mikro material setelah perlakuan panas

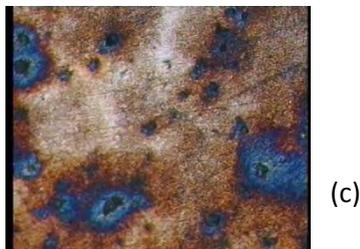
Didapatkan material setelah perlakuan panas specimen memiliki fenomena seperti gambar 4.8



Gambar 4.8 struktur mikro spesimen perlakuan panas perbesaran 10x (a), dan 50 x(b) plat posisi 21

4.4.3 Hasil struktur mikro pengelasan 100 A

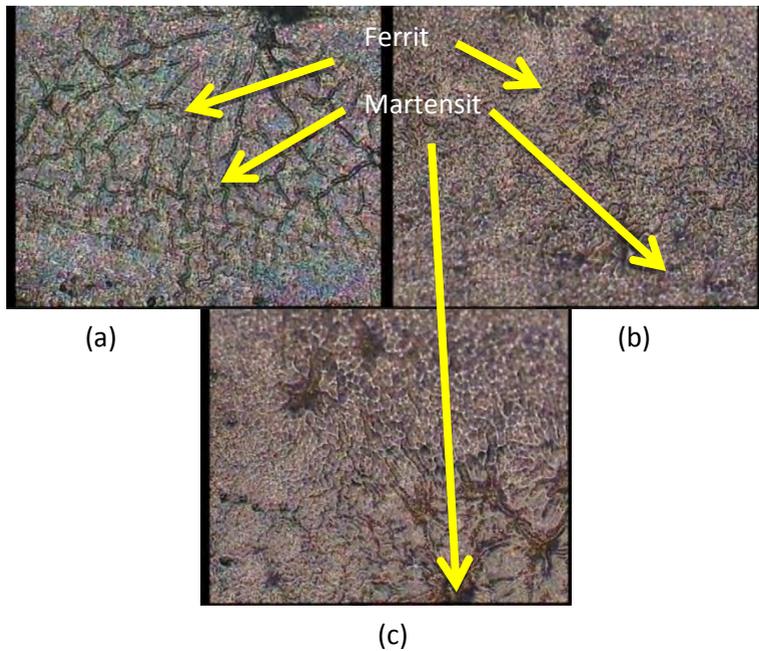
Dari pengamatan didapatkan pada tiap daerah terdapat struktur mikro yang berbeda pada HAZ, Las, dan Base Metal



Gambar 4.9 struktur mikro spesimen las 100 A daerah Las (a), HAZ (b), dan base metal (c) plat posisi 22

4.4.4 Hasil struktur mikro pengelasan 125 A

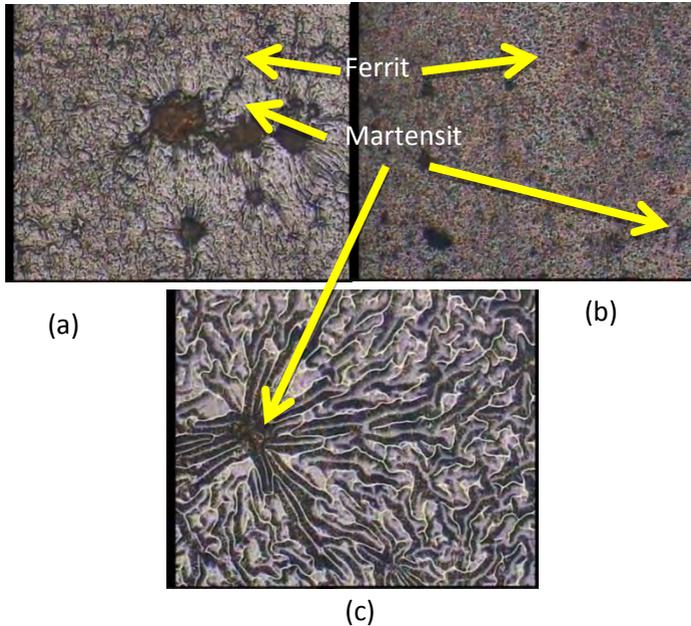
Dari pengamatan didapatkan pada tiap daerah terdapat struktur mikro yang berbeda pada HAZ, Las, dan Base Metal



Gambar 4.10 struktur mikro spesimen las 125 A daerah Las (a), HAZ (b), dan base metal (c) plat posisi 23

4.4.5 Hasil struktur mikro pengelasan 150 A

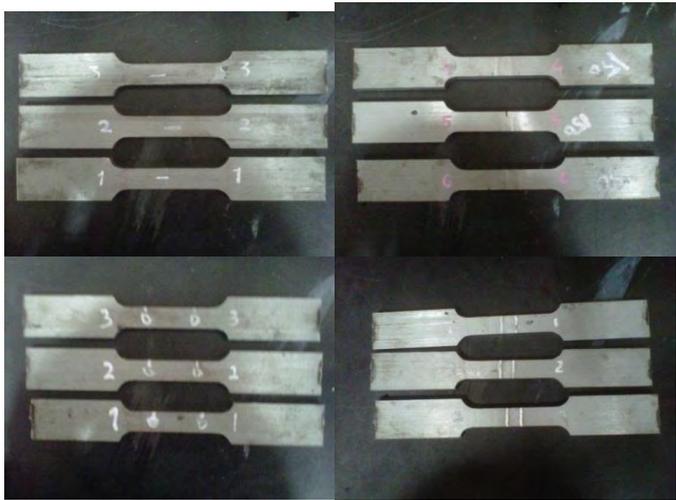
Dari pengamatan didapatkan pada tiap daerah terdapat struktur mikro yang berbeda pada HAZ, Las, dan Base Metal



Gambar 4.11 struktur mikro spesimen las 150 A daerah Las (a), HAZ (b), dan base metal (c) plat posisi 24

4.5 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Dengan mengacu pada metodologi tentang proses pengujian tarik material specimen ketiga variasi tersebut maka persiapan yang dilakukan sebelum uji tarik adalah specimen sesuai variasi dengan tanda tertentu agar tidak tertukar.



Gambar 4.12 spesimen Uji tensile sebelum ditarik.

Dari proses uji tarik didapatkan hasil uji tarik pada setiap specimen melalui tabel uji tarik sebagai berikut

Tabel 4.6 Hasil Uji tarik specimen

No. Spesimen	Tensile Strength, σ_u (MPa)	Rata-rata Tensile Strength, σ_u (MPa)	Posisi Patah
Awal tanpa perlakuan (plat posisi 25)	521,2	478,34	Base Metal
	459,09		
	454,75		
Perlakuan panas normalizing, quench-temper (plat posisi 21)	481,29	497,28	Base Metal
	472,34		
	538,22		

No. Spesimen	Tensile Strength, σ_u (MPa)	Rata-rata Tensile Strength, σ_u (MPa)	Posisi Patah
Las 100 A (plat posisi 22)	559,09	602,91	Base Metal
	623,54		
	626,1		
Las 125 A (plat posisi 23)	589,6	625,06	Base Metal
	644,68		
	640,9		
Las 150 A (plat posisi 24)	619,15	554,56	Base Metal
	500		
	544,54		

4.6 Data Pengaruh Perbedaan Arus Pengelasan

Berdasarkan persamaan (1), dimana :

$$H_{net} = \eta \frac{E \cdot I}{v}$$

Variable Arus (I) merupakan fungsi pengali, sehingga apabila arus semakin besar, maka heat input yang dikenakan pada spesimen akan semakin besar per milimeternya. Begitupun sebaliknya, apabila arus semakin kecil, maka heat input yang dikenakan pada spesimen akan semakin kecil per milimeternya. Sehingga menyebabkan lebar HAZ dan deposit las bervariasi.

Untuk mengetahui besarnya heat input pada masing-masing variasi arus pengelasan makaterlebih dahulu perlu dihitung besarnya kecepatan pengelasan , dimana variable ini sulit untuk dikendalikan karena proses pengelasan dilakukan secara manual. Sehingga perlu adanya bantuan software untuk menganalisa besarnya kecepatan pengelasan melalui inputan berupa geometri bendalas, dan output berupa kecepatan.

Dengan input data ketebalan specimen sebesar 15 mm, root gap 2, root face 2, include angel 60° , welding distance 0,2 m. Hasil perhitungan nilai kecepatan pengelasan dengan menggunakan software E-Weld v.3.2ML dapat dilihat pada gambar 4.13 .dari gambar 4.13 didapatkan kecepatan pengelasan sebesar 0,192 m/Hour atau 0,533 mm/sec. dengan diketahuinya kecepatan pengelasan maka akan didapatkan heat input.

The screenshot displays the 'Welding method and economy input' window. On the left, 'V-Joint' is selected under 'Choose Type of joint'. The 'Input of Joint data' section includes: Plate thickness: 15 mm, Root gap: 2 mm, Root face: 2 mm, Included angle: 60°, Height of Cap: 1.5 mm (Above) and 1 mm (Below), and Cap Overlap: 1 mm. A 'Joint sketches' section shows a diagram of a V-joint with a 60-degree angle, a 15 mm plate thickness (t=15 (mm)), a 2 mm root gap, and a root face width (b (mm)). The 'Results' section on the right provides the following data:

Parameter	Value
Description of this calculation:	Whatever
Welding distance:	0.2 m
Estimated area:	149.464 mm ²
Weight of weld per m:	1.173 kg
Welding time:	1.041 Hours
Productivity:	0.192 m/Hour
Consumption of Electrode / Wire:	0.270 kg
Gas Consumption:	0.000
Material Cost:	8.092 NOK
Labour Cost:	364.376 NOK
Total Costs:	372.468 NOK

Gambar 4.13 perhitungan kecepatan menggunakan software e-weld v3.2 ML

4.6.1 Variasi Arus (100A)



Gambar 4.14 : Hasil Pengelasan Spesimen 100A

Berdasarkan perhitungan perumusan didapatkan bahwa besarnya heat input yang ditransferkan ke spesimen adalah :

$$H_{net} = \eta \frac{E.I}{v} = 0,8 \frac{(100V)(100A)}{\left(\frac{0,533mm}{s}\right)} = 15.009,38 \text{ J/mm}$$

Dari besarnya heat input tersebut, berdampak langsung pada lebarnya HAZ dan lebar heat input/deposit las. Terlihat pada gambar bahwa deposit hasil pengelasan pada spesimen satu berukuran 0,5 cm, lebar HAZ 1,0 cm. Dimana didapatkan untuk spesimen 1 dengan variasi arus 100A adalah

- Lebar deposit : 0,5 cm
- Lebar HAZ (kanan,kiri) : 0,5 cm
- Ketebalan Spesimen : 1,1 cm

4.1.2 Variasi Arus (125A)



Gambar 4.15 : Hasil Pengelasan Spesimen 125A

Berdasarkan perhitungan perumusan didapatkan bahwa besarnya heat input yang ditransferkan ke spesimen adalah :

$$H_{net} = \eta \frac{E \cdot I}{v} = 0,8 \frac{(100V)(125A)}{\left(\frac{0,533mm}{s}\right)} = 18.761,72 \text{ J/mm}$$

Dari besarnya heat input tersebut, berdampak langsung pada lebarnya HAZ dan lebar heat input/deposit las. Terlihat pada gambar bahwa pengelasan pada spesimen dua memiliki lebar deposit 0,7 cm, dan lebar HAZ 1,3 cm. Dimana didapatkan untuk spesimen 2 dengan variasi arus 125A adalah

- Lebar deposit : 0,7 cm
- Lebar HAZ(kanan,kiri) : 0,6 cm
- Ketebalan Spesimen : 1,1 cm

4.1.3 Variasi Arus (150A)



Gambar 4.16 : Hasil Pengelasan Spesimen 150A

Berdasarkan perhitungan perumusan didapatkan bahwa besarnya heat input yang ditransferkan ke spesimen adalah :

$$H_{net} = \eta \frac{E \cdot I}{v} = 0,8 \frac{(100V)(150A)}{\left(\frac{0,533mm}{s}\right)} = 22.514,07 \text{ J/mm}$$

Dari besarnya heat input tersebut, berdampak langsung pada lebarnya HAZ dan lebar heat input/deposit las. Terlihat pada gambar bahwa pengelasan pada spesimen tiga memiliki lebar

deposit 0,5 cm, dan lebar HAZ 1,5 cm. Dimana didapatkan untuk spesimen 2 dengan variasi arus 150A adalah

- Lebar deposit : 0,5 cm
- Lebar HAZ(kiri, kanan) : 1,0 cm
- Ketebalan Spesimen : 1,1 cm

BAB 5

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Sifat Mekanik Material

5.1.1 Analisa Kekerasan Material

Dari hasil uji kekerasan untuk perbandingan daerah HAZ, las, dan base metal dengan variasi arus pengelasan 100A, 125A, 150A, terlihat bahwa kekerasan pada daerah HAZ ketiga perlakuan pengelasan tersebut menghasilkan nilai tertinggi dibanding daerah las dan base metal, ini disebabkan karena daerah ini adalah daerah yang mengalami perubahan fase akibat panas dari pengelasan. Hal ini bisa disebabkan karena jumlah martensit temper pada daerah HAZ lebih banyak dibandingkan dengan jumlah martensit temper pada weld metal dan base metal. Sedangkan nilai kekerasan pada daerah las dan base metal relatif sama.

Sementara nilai kekerasan material pada daerah base metal untuk ketiga variasi arus pengelasan masing-masing berada dibawah 20 HRC. Kekerasan rata-rata base metal untuk arus 100 ampere 14,3 HRC. Untuk arus 125 ampere sebesar 12 HRC dan untuk arus 150 sebesar 10,6 HRC. Hasil ini masih berada pada rentang nilai material produk perlakuan panas Normalizing-Quench Temper, nilai rata-rata kekerasan material hasil perlakuan panas sebelum terjadi pengelasan yaitu sebesar 13,49 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan antara 9,83 (min) – 16,78 (max). Sehingga hasil nilai kekerasan pada base metal masih relative sama dengan kondisi awal, hal ini menandakan bahwa daerah base metal tidak terpengaruh dengan proses pengelasan.

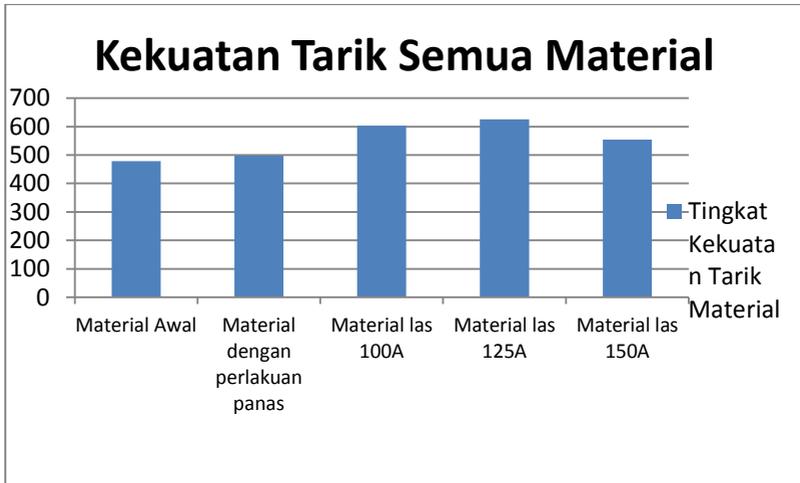
Sementara untuk daerah HAZ untuk semua variasi arus pengelasan selalu mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi

dibandingkan daerah base ataupun weld metal. Hal tersebut sesuai dengan penjelasan secara teoritis. Dimana daerah HAZ sangat dimungkinkan terdapat struktur mikro martensit. Perbandingan hasil kekerasan rata-rata HAZ dari nilai kekerasan HAZ kanan dan kiri weld metal didapatkan nilai sebesar 31,3 HRC, 35,5 HRC dan 27,16 HRC masing-masing untuk arus 100,125 dan 150 A. Nilai HAZ pada arus 125 ampere paling tinggi diantara yang lain hal ini bisa dikarenakan akibat pengaruh heat input pada pengelasan, dimana heat input pada arus 125 ampere paling baik diantara ketiganya. Hal tersebut sesuai dengan rentang spesifikasi arus yang dianjurkan pada filler yang berjenis LB52 atau E7018 yaitu antara rentang 90A-130A. hal ini menjelaskan bahwa untuk arus 150 ampere berada diluar rentang spesifikasi arus. .

Hasil kekerasan pada weld metal dari ketiga variasi arus juga sejalan dengan nilai kekerasan pada HAZ, pada arus 125 ampere nilai kekerasan weld metal paling tinggi yaitu sebesar 18 HRC, sementara untuk arus 100ampere dan arus 150 ampere masing-masing 16HRC dan 17,33 HRC.

5.1.2 Analisa Kekuatan Tarik Spesimen

Hasil Pengujian tarik yang dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap variasi specimen akan dirata-rata dan didapatkan nilai tertinggi dari rata-rata nilai kekuatan tarik tiap specimen, dari data pada tabel 4.6 didapatkan kekuatan tarik yang paling tinggi pada specimen pengelasan arus 125A dengan nilai kekuatan tarik sebesar 625,06MPa, sedangkan nilai rata-rata kekuatan tarik yang paling kecil berada pada specimen awal sebelum perlakuan panas dengan nilai kekuatan tarik 478,34MPa. Sedangkan perbandingan dari keseluruhan material dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 5.1 Grafik kekuatan tarik material awal tanpa perlakuan, material dengan perlakuan panas, material pengelasan 100A, 125A, dan 150A

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik material mengalami kenaikan yang cukup signifikan dari setiap runtutan perlakuan, dari material awal dengan kekuatan tarik sebesar 478,34 MPa naik menuju material perlakuan panas yang memiliki kekuatan tarik 497,28 MPa , setelah itu terjadi kenaikan yang signifikan pada saat berada pada pengelasan 100A yaitu kekuatan tarik 602,91. Kemudian grafik meningkat lagi pada pengelasan 125A dengan kekuatan tarik 625,06, namun setelah itu kekuatan tarik material turun setelah pengelasan 150A dengan kekuatan tarik 554,56.

Hasil kekuatan tarik rata-rata spesimen pada variasi pengelasan sejalan dengan nilai rata-rata kekerasan dari masing-masing specimen. Hal ini membuktikan kajian teoritis bahwa nilai kekerasan sejalan dengan kekuatan tarik.

5.1.3 Analisa Pengujian Struktur Mikro

Hasil pengujian struktur mikro dengan mikroskop axio mendapatkan gambar struktur mikro yang ada pada bab 4 dengan perbesaran 10x dan 50x. struktur mikro yang tampak pada material awal tanpa perlakuan panas terdiri dari ferrit dan perlite. Dengan adanya struktur mikro berupa ferrit dan perlite menunjukkan bahwa komposisi kimia yang diberikan pada saat pengecoran sesuai dengan standar yang ada. Hal ini dibuktikan karena baja dengan karbon kurang dari 2% mempunyai komposisi berupa ferrit dan perlite pada temperature dibawah A1. Sehingga sifat mekanik yang didapatkan baja memiliki keuletan yang baik, yang nantinya akan dimanfaatkan untuk proses machining. Dari komposisi yang ada diperkirakan baja mengalami proses pendinginan secara perlahan pada dapur.

Sedangkan hasil pengujian pada specimen setelah diberi perlakuan panas struktur mikro yang didapatkan mengalami perubahan komposisi, yang didapatkan dari proses normalizing, quench-temper adalah ferrit dan martensit temper. Terdapat pada gambar 5.6 bahwa terjadi perubahan struktur mikro dari ferrit-perlite menjadi ferrit-martensit. Sedangkan pada struktur mikro pengelasan mengalami hal yang sama pada base metal, namun pada daerah HAZ dan Weld metal memiliki struktur mikro yang berbeda. Ini disebabkan karena proses pengelasan memberi efek post-heat dan pre-heat pada daerah HAZ sehingga struktur mikro yang terbentuk akan berbeda.

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[5].Dapat dilihat juga pada gambar 4.6, gambar 4.7, dan gambar 4.8 adanya martensit temper yang dihasilkan setelah dilakukan proses temper setelah proses quench, dengan adanya penambahan temperatur temper jumlah martensit temper yang terbentuk bertambah banyak.

5.2 Hubungan Pengaruh Variasi Arus dengan Kekuatan mekanik

Hasil pengelasan dengan proses multilayer tentu mempengaruhi kekuatan mekanik material. Pada gambar 4.6 struktur mikro yang dihasilkan antara daerah HAZ, Weld metal, dan Base metal masing-masing memiliki perbedaan, yang kedua adalah dari kekuatan dan kekerasan yang diperoleh dari daerah HAZ, weld metal, dan base metal pada ketiga variasi arus 100A, 125A dan 150 A mengalami kenaikan dan penurunan seperti yang dijelaskan gambar 5.1 dan 5.2. Jika dilihat pada sifat mekanik dan fisik material tentu proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap proses repair dari crack yang dihasilkan oleh baja cor. Kekuatan tarik cenderung mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari material tanpa perlakuan panas ataupun dengan perlakuan panas. Begitu pula pada kekerasan yang didapatkan.

Proses pengelasan metode multilayer juga telah membuktikan bahwa kekuatan weldmetal specimen memiliki nilai yang rendah disbanding dengan daerah HAZ, dan base metal dari tabel 4.6, hal ini membuktikan bahwa proses post-heat dan preheat telah terjadi pada tiap layer weldmetal dimana proses post-heat dan preheat mempengaruhi sifat mekanik weldmetal sehingga keuletannya semakin membaik, sedangkan pada daerah HAZ terjadi sebaliknya. Karena proses post-heat dan preheat berada pada suhu udara maka pendinginan pada daerah disekitar weld metal atau HAZ mengalami quenching sebanyak lima kali. Sehingga daerah HAZ memiliki sifat mekanik yang sangat keras.

Perbedaan ketiga variasi arus 100A, 125A, dan 150A dari hasil yang diperoleh dari kekuatan mekanik maupun fisik tentu mengalami perbedaan, dari perbedaan tersebut akan didapatkan arus pengelasan yang terbaik untuk dijadikan acuan perusahaan pengecoran dalam proses repair. Jika dilihat dari nilai kekerasan yang didapatkan ketiga arus, kekerasan yang paling tinggi didapatkan pada pengelasan arus 125A dengan nilai kekerasan rata-rata daerah HAZ adalah 38.61HRC, daerah weld metal 15.67HRC, dan pada daerah base metal 29.31HRC. sedangkan specimen yang memiliki rata-rata kekerasan terendah terdapat pada pengelasan arus 100 A dengan nilai kekerasan rata-rata daerah HAZ adalah 24.97HRC, daerah weld metal 13.53HRC, dan pada daerah base metal 13.54HRC. Selain itu kekuatan tarik rata-rata tertinggi juga didapatkan pada pengelasan 125A yang patah pada base metal dengan nilai kekuatan tarik sebesar 625,06MPa, sedangkan kekuatan tarik paling kecil terdapat pada pengelasan 150A dengan nilai 554,56MPa.

Pada Pengujian struktur mikro maupun makro yang digunakan mempunyai perbedaan yang cukup signifikan dimana secara fisik uji makro material mengalami perbesaran luas HAZ dan deposit. Pada pengelasan 100A didapatkan lebar deposit 0,5 dengan lebar HAZ 1,0 ,pada pengelasan 125A pada HAZ yaitu 1,3 sedangkan deposit 0,7. Pada pengelasan arus 150 A mengalami perbesaran luas pada HAZ dan deposit yaitu 1,5 dan 0,5. Namun posisi patahan pada ketiga pengelasan terjadi pada base metal, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengelasan yang dilakukan sudah baik, dan tidak ada pengaruh yang signifikan antara variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik material.

5.3 Pengaruh Pengelasan Multilayer terhadap Kekuatan Material dan Kekuatan pengelasan

Pengelasan yang dipakai pada penelitian ini adalah multilayer, dikarenakan diameter filler yang jauh lebih kecil dari ketebalan plat. Diameter dari filler sendiri mencapai 3,2mm

sedangkan tebal plat yang dipakai sebesar 11mm, sehingga diperlukan pengelasan multilayer sebanyak 5 layer. Filler yang dipakai adalah filler E 7016 dimana nilai kekuatan tarik yang diketahui dari produk filler kobelco sendiri adalah 580MPa.

Sesuai dengan WPS (Welding Procedure Specification) yang ditetapkan oleh PT. Barata Indonesia maka proses pengelasan dengan 5 layer diatas menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanik dari filler dan daerah HAZ. Sesuai dengan dasar teori mengenai pengelasan multilayer dimana pada saat terjadi pengelasan layer 1 merupakan proses preheat untuk pengelasan layer 2, dan pengelasan layer 2 menjadi proses postheat untuk layer 1. Begitu pula pengelasan layer 3 menjadi proses preheat untuk layer 2 dan pengelasan layer 2 menjadi postheat untuk pengelasan laer 3, begitu seterusnya hingga terdapat 5 layer. Hal ini menyebabkan terbentuknya peningkatan kekuatan pada daerah HAZ dan weld metal, dimana daerah weld metal yang terbentuk dari filler berkekuatan 580MPa meningkat hingga lebih kuat dibandingkan base metal, begitu pula pada daerah HAZ. Oleh karena itulah specimen mengalami patah pada daerah base metal dengan kekuatan tarik 680 MPa. Ini membuktikan bahwa proses pengelasan multilayer memperbaiki kekuatan tarik dari weld metal dan HAZ.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Kekuatan tarik pada material awal sebelum perlakuan panas memiliki nilai yang paling kecil dari material dengan perlakuan panas dan pengelasan, ini membuktikan bahwa terjadi perubahan sifat mekanik yang cukup signifikan dari 478,34MPa dan setelah material diberi perlakuan panas dan pengelasan sebesar 625,06MPa. Hal ini disebabkan karena proses perlakuan panas yang menghilangkan tegangan sisa pada produk pengecoran.
2. Hasil kekerasan rata-rata pada posisi weld metal, HAZ, dan Base metal dari ketiga variasi arus menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang paling besar didapatkan material pengelasan dengan arus 125 Ampere dengan nilai kekerasan pada masing-masing daerah 18HRc, 35,5HRc, dan 12 HRc untuk daerah weld metal, HAZ, dan Base metal.
3. Perbedaan arus pengelasan mengalami kenaikan kekuatan material yang tidak signifikan dari 100A menuju 125A, lalu kekuatan menurun pada arus 150A, namun lokasi patahan terletak pada base metal. Hal ini menandakan bahwa pengelasan sudah baik dan tidak berpengaruh pada kondisi kekuatan material.

6.2 Saran

Adapun saran yang telah didapatkan pada penelitian ini adalah

1. Mengganti material G17CrMo9-10 dengan material yang lain untuk mempermudah proses pemesinan dan pengujian. Karena material G17CrMo9-10 sangat terbatas
2. Mengurangi variable yang dipakai untuk memfokuskan permasalahan hingga lebih detail dan jelas.

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 Gattling Sistem Pada Kualitas Hasil Cor”.

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

BIOGRAFI PENULIS



Ervan Ari Prasetyo- lahir 12 Januari 1992 di Kota Gresik adalah anak kedua dari pasangan Suprpto Supardi dan Enik Susiana. Mulai menempuh pendidikan di SDN Randuagung 2 Gresik (1998-2004) SMPN 3 Gresik (2004-2007), SMAN 1 Kebomas (2007-2010) melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Hobi yang diminati dari kecil adalah menggambar, desain grafis, basket, dan memainkan alat musik. Keorganisasian sudah mulai dirintis pada SMA kelas 1 dengan aktif pada Organisasi Siswa Intra Sekolah (OSIS) menjabat sebagai staff PAKS, pada tahun kedua sempat mencalonka diri sebagai ketua OSIS namun belum diberikan kesempatan untuk menerima tanggung jawab dan akhirnya menjabat sebagai ketua Majelis Permusyawaratan Kelas (MPK) dirangkap sebagai wakil ketua osis kedua. Setelah masuk ITS organisasi aktif kembali pada MMC (Mesin Music Club) dimana pada tahun pertama menjabat sebagai staff, sedangkan pada tahun kedua menjabat sebagai ketua umum MMC. Adapun keaktifan pada even yang diselenggarakan antara lain ketua umum lomba desain logo dan mars SMAN 1 Kebomas, koordinator pubdok pada HUT SMAN 1 Kebomas, kompetisi Futsal, dan kompetisi Music, pada perkuliahan aktif dalam even MMC maupun even besar Teknik Mesin, sebagai ketua acara Wisuda MMC, koor pubdok HUT MMC, dan aktif dalam even besar ITS sebagai koor pubdok ITS Expo. Prestasi yang didapatkan dari SMA adalah sebagai runner up graffiti competition (tingkat

Gerbangkertasusila), Juara 3 desain textile (tingkat Kabupaten), 10 besar band competition (tingkat Kabupaten) juara harapan Monolog (tingkat Jawa Timur), dan peserta Study banding Kato Internasional Jepang dan Sekolah Reppublik Indonesia Tokyo. Sedangkan prestasi yang diraih saat berada pada bangku kuliah adalah Juara 2 Lomba Karya Tulis Mahasiswa Univ. Indonesia (tingkat Nasional), peraih medali perak PIMNAS 25 Jogjakarta (tingkat Nasional).