

SKRIPSI

**ANALISA HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW PADA
MATERIAL BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI ARUS DAN
JARAK KAMPUH LAS**



DISUSUN OLEH

YOGGA DWI ANDA

NPM : 163310460

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

ANALYSIS OF SMAW WELDING JOINTS ON ASTM A36 STEEL MATERIAL WITH VARIATION OF CURRENT AND WELDING

RANGE

Yogga Dwi Anda, Kurnia Hastuti

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Riau
Jl. Kaharudin Nasution No.113 Marpoyan, Pekanbaru Riau

Email: yoggadwianda@student.uir.ac.id

ABSTRACT

In this study, ASTM A36 steel was welded using the SMAW method using E6010 electrodes with a diameter of 3.2 mm. Welding is carried out with 3 variations of current, namely 90 A, 100 A, 110 A and the welding seam distance is ± 3 mm and ± 4 mm. The welded material was subjected to a tensile test to determine the strength of the welded joint, to observe the microstructure and to observe the weld defects by radiography. The results showed that the weld defects formed at the weld joint with a welding seam distance of 3 mm were relatively less than the defects formed at a welding seam distance of 4 mm. The highest yield strength is shown by the material being welded at 90A, which is 367.83 MPa, followed by the material being welded at 110 A, which is 366.21 MPa. The highest tensile strength is shown by the material being welded at 110 A, which is 474.78 MPa, followed by the material being welded at 90A, at 469.67 MPa. The highest results were found in materials that were welded at a weld seam distance of 3 mm. Elongation under these conditions were 22.9% and 24%, respectively.

Keywords: Welding Connection, SMAW, Current Variation, Welding Distance, Weld Defect, Radiograph (NDT)

ANALISA HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW PADA MATERIAL BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI ARUS DAN JARAK KAMPUH LAS

Yogga Dwi Anda, Kurnia Hastuti

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

Jl. Kaharudin Nasution No. 113 Marpoyan, Pekanbaru Riau

Email: yoggadwianda@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini baja ASTM A36 dilas dengan metode SMAW menggunakan elektroda E6010 berdiameter 3,2 mm. Pengelasan dilakukan dengan 3 variasi arus yaitu 90 A, 100 A, 110 A dan jarak kampuh pengelasan ± 3 mm dan ± 4 mm. Material hasil pengelasan dilakukan uji tarik untuk mengetahui kekuatan sambungan las, pengamatan struktur mikro serta pengamatan cacat las dengan radiografi. Hasil penelitian menunjukkan cacat las yang terbentuk pada sambungan las yang dilakukan pengelasan dengan jarak kampuh las 3 mm relatif lebih sedikit dibandingkan cacat yang terbentuk pada jarak kampuh las 4 mm. Yield strength tertinggi ditunjukkan oleh material yang dilas dengan arus 90A yaitu 367,83 MPa diikuti oleh material yang dilas pada 110 A yaitu 366,21 MPa. Tensile strength tertinggi ditunjukkan oleh material yang dilas pada 110 A yaitu 474,78 MPa diikuti material yang dilas pada arus 90A yaitu 469,67 MPa. Hasil tertinggi tersebut ditemukan pada material yang dilas pada jarak kampuh las 3 mm. *Elongation* pada kondisi tersebut masing-masing adalah 22,9% dan 24%.

Kata Kunci : Sambungan Las, SMAW, Variasi Arus, Jarak Pengelasan, Cacat Las, Radiografi (NDT)

KATA PENGANTAR

Assalamu'allaikum Wr.Wb

Puji dan syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana yang berjudul “Analisa Hasil Sambungan Las SMAW Pada Material Baja ASTM A36 Dengan variasi Arus Dan Jarak Pengelasan” dengan baik sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata 1 (S1) Teknik Mesin. Sholawat serta salam senantiasa selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, yang mana telah mengajarkan kita dari dahulu hingga sekarang untuk mencapai titik pencerahan dalam kehidupan umat manusia serta sosok yang menjadi tauladan yang sempurna yang berorientasi kepada kemuliaan hidup dan keselamatan jiwa diakhiratkelak.

Tugas sarjana ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis haturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua Orangtua penulis bapak Mudasi dan ibunda Masnida yang tercinta yang telah melahirkan, membesarkan dan mendidik penulis tidak henti-hentinya membantu do'a maupaun materi dalam penyelesaian Proposal tugas sarjana ini.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Bapak Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD selaku Kepala Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona, S.T., M.Eng selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Ibu Dr.Kurnia Hastuti, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing dalam penyelesaian tugas sarjana ini.

6. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.
7. Teman-teman seperjuangan teknik mesin yang sudah membantu saya dalam menyelesaikan tugas sarjana sampai dengan selesai dan memberikan semangat serta dukungannya kepada penulis.

Akhir kata, dengan segala penuh harapan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis sendiri khususnya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu menyempurnakan laporan ini.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Pekanbaru, November 2021

Yogga Dwi Anda

16.331.0460

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batas Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengelasan	6
2.2. Macam-Macam Pengelasan	6
2.2.1 SMAW (Sheilded Metal Arc Welding)	7
2.2.2 Jenis Elektroda Pengelasan	8
2.2.3 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG)	9
2.2.4 Gas Metal Arc Welding (GMAW/MIG)	10
2.2.5 Submerged Arc Welding (SAW)	11
2.2.6 Flux Cored Arc Welding (FCAW)	12
2.3 Posisi Pengelasan	13
2.4 Heat Input	15
2.5 Cacat Pengelasan	17
2.5.1 Keropos (porosity)	17
2.5.2 Tungsten Inclusion	18
2.5.3 Incomplete Fusion	19
2.5.4 Percikan Las (spatter)	20

2.5.5 Slug Inclusion (Inklusi Terak)	21
2.5.6 Incomplete Penetraion	22
2.6. Baja Karbon	24
2.6.1 Klasifikasi Baja Karbon	24
2.6.2 Baja ASTM A36	25
2.7 Radiografi Test	26
2.7.1 Sinar – X	27
2.7.2 Sinar – Y	27
2.7.3 Pesawat Gamma ray	28
2.7.4 Sumber Radioaktif Gamma Ray	29
2.7.5 Prinsip kerja Radiografi	30
2.7.6 Metode Pengujian Radiografi	30
2.7.7 Pemilihan Image Quality Indicator (IQI)	33
2.7.8 Film Radiografi	35
2.7.9 Sensitivitas Film Radiografi	36
2.8 Klasifikasi jenis film radiografi	37
2.8.1 Pemilihan Film Radiografi	38
2.8.2 Pemrosesan Film Radiografi	39
2.8.3 Interpretasi Hasil Film Radiografi	41
2.9 Uji Tarik	42
2.10 Mikro Struktur	44
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu Dan Tempat Peneltian	46
3.2 Alat Dan Bahan	46
3.2.1 Alat	46
3.2.2 Bahan	49
3.3 Persiapan Material	52
3.4 Karakteristik Material	54
3.4.1 Pengujian Uji Tarik	54
3.4.2 Pengujian Radiografi	55

3.4.3 Pengujian Pengamatan Mikro Struktur	57
3.5 Diagram Alir	59

BAB IV Analisa Dan Pembahasan

4.1 Hasil Radiografi Test	60
4.2 Hasil Pengujian Tarik	62
4.3 Hasil Pengamatan Metalografi	65
4.4 Hasil Analisa Dan Pembahasan	68

BAB V Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW	7
Gambar 2.2 Klasifikasi Material Teknik.....	9
Gambar 2.3 Proses Pengelasan GTAW.....	10
Gambar 2.4 Proses Pengelasan GMAW	11
Gambar 2.5 Proses Pengelasan SAW	12
Gambar 2.6 Proses Pengelasan FCAW.....	13
Gambar 2.7 Pengelasan 1G	13
Gambar 2.8 Pengelasan 2G	14
Gambar 2.9 Pengelasan 3G	14
Gambar 2.10 Pengelasan 4G	15
Gambar 2.11 Porosity	17
Gambar 2.12 Tungsten inclusion.....	18
Gambar 2.13 Incomplete fusion	19
Gambar 2.14 Spatter	21
Gambar 2.15 Slug Inclusion.....	22
Gambar 2.16 Incomplete Penetration	23
Gambar 2.17 Baja ASTM A36.....	26
Gambar 2.18 Gamma Kalkulator.....	28
Gambar 2.19 Gama ray	29
Gambar 2.20 Sumber Radioaktif Isotop	29

Gambar 2.21 Prinsip Kerja Radiografi	30
Gambar 2.22 SWSV.....	31
Gambar 2.23 Internal Image Technique	31
Gambar 2.24 Panoramic Technique.....	32
Gambar 2.25 Ellips technique	32
Gambar 2.26 Superimposed technique	33
Gambar 2.27 Penyinaran menggunakan film radiogarfi.....	35
Gambar 2.28 Penampakan film radiografi dan jenis bagiannya.....	36
Gambar 2.29 Wire Image quality indicator.....	37
Gambar 2.30 Struktur butiran film lambat dan film cepat.....	39
Gambar 2.31 Pemrosesan film radiografi	41
Gambar 2.32 Viewer.....	41
Gambar 2.33 Tensile Strenght.....	42
Gambar 2.34 Mikroskop Struktur	45
Gambar 3.1 Mesin Las	46
Gambar 3.2 Kawat Las.....	47
Gambar 3.3 Termos Las	47
Gambar 3.4 Polishing Dan Granding.....	48
Gambar 3.5 Kamera Gamma ray	49
Gambar 3.6 Plate Baja ASTM A36	49
Gambar 3.7 Nital	50
Gambar 3.8 Aquadest.....	50

Gambar 3.9 Amplas	51
Gambar 3.10 Autosol	51
Gambar 3.11 Dimensi spesimen material	52
Gambar 3.12 Dimensi Benda Uji Tarik	54
Gambar 3.13 Alat uji Tarik	54
Gambar 3.14 Ukuran spesimen radiografi	55
Gambar 3.15 Alat Radiografi	55
Gambar 3.16 Mikroskop Struktur	57
Gambar 3.17 Diagram Alir	59
Gambar 4.1 Hasil Radiografi pada sambungan las	62
Gambar 4.2 Kekuatan Luluh (<i>Yield Strength</i>)	63
Gambar 4.3 Tensile Strength	64
Gambar 4.4 Keuletan (<i>Elongation</i>)	65
Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur Sampel 90A - 3 mm	66
Gambar 4.6 Foto Mikrostruktur Sampel 110A - 3 mm	67
Gambar 4.7 Foto Mikrostruktur Sampel 110A - 4 mm	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi jenis elektroda	8
Tabel 2.2 Komposisi kimia yang ada pada baja baja ASTM A36	25
Tabel 2.3 Pemilihan image quality indicator.....	34
Tabel 2.4 Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity	34
Tabel 2.5 Klasifikasi film radiografi menurut AGFA GEVAERT	37
Tabel 4.1 Spesifikasi pengelasan.....	60
Tabel 4.2 Data hasil uji tarik	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi dalam dunia industri semakin pesat demikian juga teknologi berkaitan penyambungan logam. Pengelasan sebagai salah satu cara penyambungan logam, mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam. Kemajuan pembangunan konstruksi logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya, agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya (Fenoria Putri,1993).

Industri pengolahan kelapa sawit yang banyak ditemukan khususnya di provinsi Riau juga banyak menggunakan teknik pengelasan dalam proses manufaktur misalnya pada tangki penampung minyak kelapa sawit maupun pada saluran pipa. Prosedur pengelasan yang digunakan akan mempengaruhi kualitas sambungan las, antara lain adalah pemilihan jenis elektroda dan diameter elektroda (Fenoria Putri,2012). Selain itu, arus pengelasan dan jarak kampuh las merupakan 2 faktor yang mempengaruhi kualitas sambungan las. Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang mengalir dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las tersebut. Arus las juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang akan digunakan dalam pengelasan. Penggunaan arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan sulitnya penyalaan busur listrik dan busur yang dihasilkan tidak stabil, hal ini disebabkan panas yang terjadi tidak cukup untuk mencairkan elektroda dan bahan dasarnya sehingga hasil dari pengelasan tersebut merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata dan penembusan kurang

dalam (Abdul Hamid,2016). Sebaliknya arus yang terlalu besar dapat mengakibatkan kawat las elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menabahnya kerapuhan dari hasil pengelasan tersebut (Trinova Budi santoso,2015)

Jika mengacu standart yang digunakan dalam proses pengelasan yaitu *ASME IX Qualification Standart For Welding And Brazing Procedures* operator dijelaskan bahwa jarak gap ± 3 mm. Namun demikian diameter kawat inti elektroda berpengaruh terhadap jarak kampuh las. Pemberian variasi pada jarak kampuh las akan menyebabkan perbedaan perubahan struktur dari *Base Metal*. Semakin besar jarak yang diberikan maka kemungkinan terjadi *defect* atau cacat terutama *incomplete fusion* semakin besar dan apabila pemberian gap terlalu kecil juga akan menimbulkan terjadinya *defect* antara lain akan terjadi *incomplete penetration*. Jadi cacat yang terjadi pada hasil sambungan las tersebut adalah karena hasil pengelasan yang tidak dikehendaki karena ketidaksempurnaan proses sambungan antara logam las dan logam induk (Rio vilda,2015).

Baja ASTM A36 adalah jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan sebagai material tangki penyimpanan minyak kelapa sawit di Perusahaan Kelapa Sawit (PKS). Dalam pembuatannya, tangki penyimpanan mengalami proses pengelasan. Untuk memastikan kualitas hasil las, perlu dilakukan analisa sambungan las. Hasil pengelasan yang baik tidak hanya berdasarkan bentuk kampuh las saja tetapi juga memiliki kekuatan sambungan las yang baik. Pada penelitian ini, dilakukan analisa sambungan las pada baja ASTM A36 yang dilas dengan metode SMAW dengan variasi arus dan jarak pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang ditentukan adalah:

1. Bagaimana pengaruh arus dan jarak kampuh las pada kekuatan sambungan las.
2. Bagaimana pengaruh arus dan jarak kampuh las pada cacat yang terbentuk pada sambungan las.
3. Bagaimana pengaruh arus dan jarak kampuh las terhadap struktur mikro sambungan las.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah dinyatakan sebagai berikut :

1. Mendapatkan pengaruh arus dan jarak kampuh las pada kualitas sambungan las.
2. Mendapatkan metode yang sesuai untuk analisa sambungan las.
3. Mendapatkan pengaruh arus dan jarak kampuh las terhadap struktur mikro sambungan las.

1.4. Batasan Masalah

Terdapat beberapa faktor yang tidak bisa dikontrol sehingga dapat mempengaruhi pengambilan dan analisis data dalam penelitian ini. Untuk menghindari terlalu luasnya penelitian ini, maka perlu diberikan beberapa batasan, antara lain sebagai berikut:

1. Menggunakan proses *SMAW*(*Sheilded Metal Arc Welding*).
2. Elektroda yang digunakan E6010 dan diameter 3,2 mm.
3. Arus yang digunakan arus AC.
4. Analisa hasil sambungan las dilakukan dengan Radiografi test (NDT)

5. Jarak kampuh las 3 mm & 4mm.
6. Arus yang divariasikan yaitu 90A, 100A dan 110A dengan tebal plate 10mm.
7. Tidak menghitung perpindahan panas.
8. Material yang digunakan Baja ASTM A36

1.5 Manfaat penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

- Penelitian ini dapat menjadi rujukan tentang arus dan jarak kampuh las yang memberikan kualitas hasil sambungan las terbaik.
- Dapat menjadi rujukan dan pembanding bagi peneliti berikutnya dalam hal pemilihan parameter penelitian dan metode analisa hasil sambungan las.

1.6 Sistematika penulisan

Penyusunan ini bisa dijadikan untuk tugas akhir terbagi dalam lima bab secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian seperti baja astm a36, baja karbon rendah, las SMAW, cacat pengelasan, uji tarik , struktur mikro dan dll.

Bab III Metodologi Penelitian

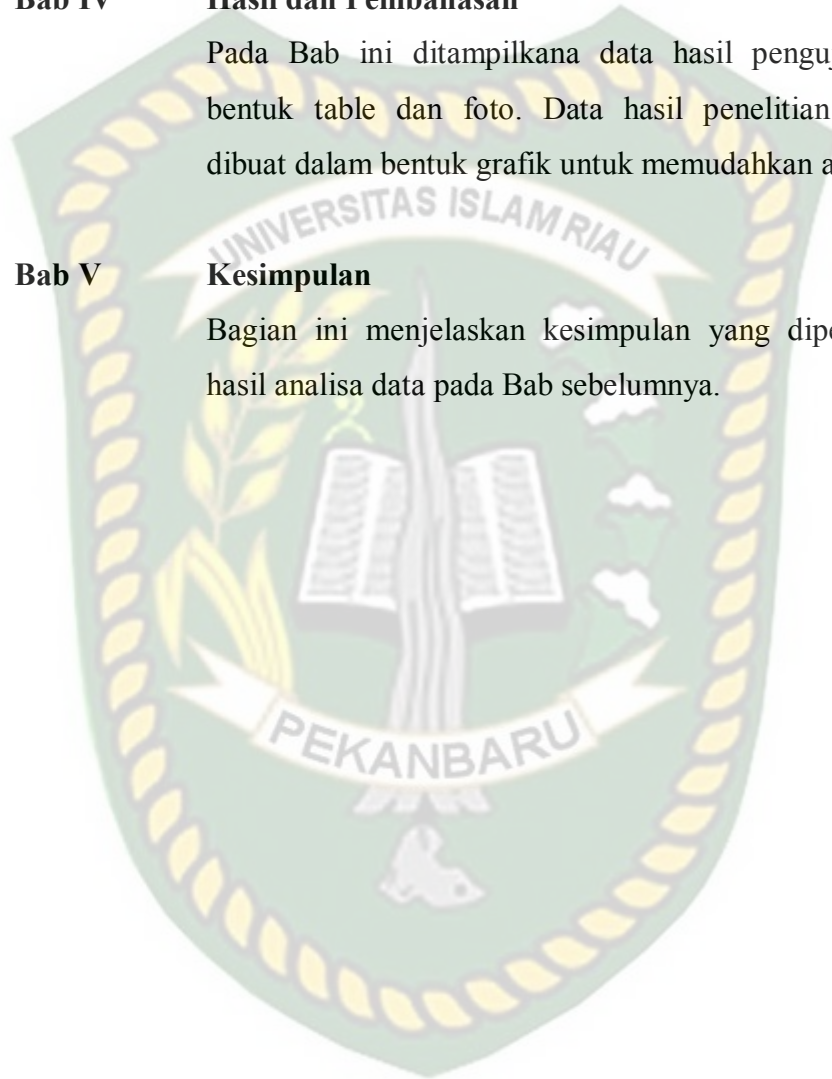
Bab ini berisikan tentang alat dan bahan, diagram alir, waktu pengerjaan, prosedur penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada Bab ini ditampilkana data hasil pengujian dalam bentuk table dan foto. Data hasil penelitian kemudian dibuat dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisa.

Bab V Kesimpulan

Bagian ini menjelaskan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa data pada Bab sebelumnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan ialah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dan menghasilkan logam kontinyu. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan energi panas untuk mencairkan logam. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam tersebut dapat berasal dari energi listrik, pembakaran gas, sinar elektron, gesekan, gelombang ultrasonic ataupun yang lain (Sugiarto,2012).

Di dalam dunia teknik pengelasan atau dunia industri saat ini baja karbon rendah merupakan salah satu logam yang sering digunakan dalam pembangunan konstruksi. Teknik penyambungan dengan metode pengelasan lebih banyak digunakan dibandingkan teknik penyambungan lain seperti penggunaan paku keling. Penggunaan paku keling pada sambungan plat baja bersifat kuat dan tidak mudah lepas sehingga ketika paku keling dilepas akan terjadi kerusakan pada sambungan tersebut. Pada beberapa sambungan, paku keling digunakan sebagai tulang penyambungan, namun diantara sambungan tetap ditutup dengan pengelasan. Selain itu, perbaikan terhadap kegagalan atau reparasi sambungan las memerlukan waktu yang singkat dan biaya perbaikan yang tidak mahal.

Meskipun memiliki banyak kelebihan, penyambungan dengan metode pengelasan sering juga tidak berjalan baik karena menghasilkan cacat pada sambungan las. Cacat yang terbentuk ini dapat menjadi awal terjadinya patah.

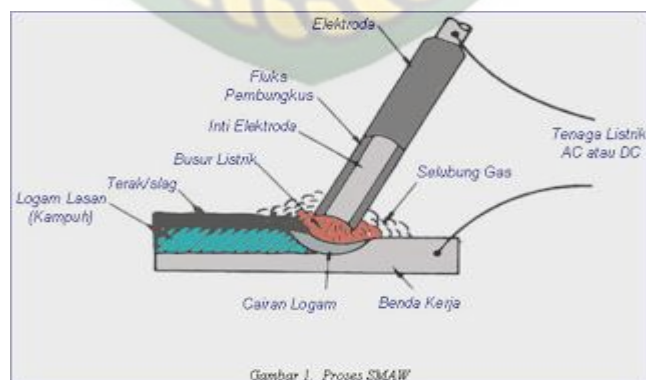
2.2 Macam-Macam Pengelasan

Macam Macam proses pengelasan pada sambungan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

- ❖ *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*
- ❖ *Gas Metal Arc Welding (GMAW/TIG)*
- ❖ *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/MIG)*
- ❖ *Submerged Arc Welding (SAW)*
- ❖ *Flux Core Arc Welding (FCAW)*

2.2.1 SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW ialah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja tersebut. Bagian ujung elektroda, busur las cairan logam las dan daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbuat dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. Proses pengelasan dengan proses *SMAW* diuraikan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus *AC* dan *DC*, dimana arus *DC* dibedakan singkatan *DCEN* (*Straight polarity atau polaritas langsung*) dan *DCEP* (*reverse polarity atau polaritas terbalik*). Filler atau busur las disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda juga tertentu berasal dari serbuk besi yang dicampur dengan lapisan pembungkus elektroda, bisa dilihat proses pengelasan SMAW pada Gambar 2.1 berikut ini (Ridho Davin.2017).



Gambar 2.1 : Proses Pengelasan SMAW (Siswanto, 2011)

2.2.2 Jenis Elektroda Pengelasan

Elektroda pada umumnya digunakan didalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di dunia industri, elektroda las sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

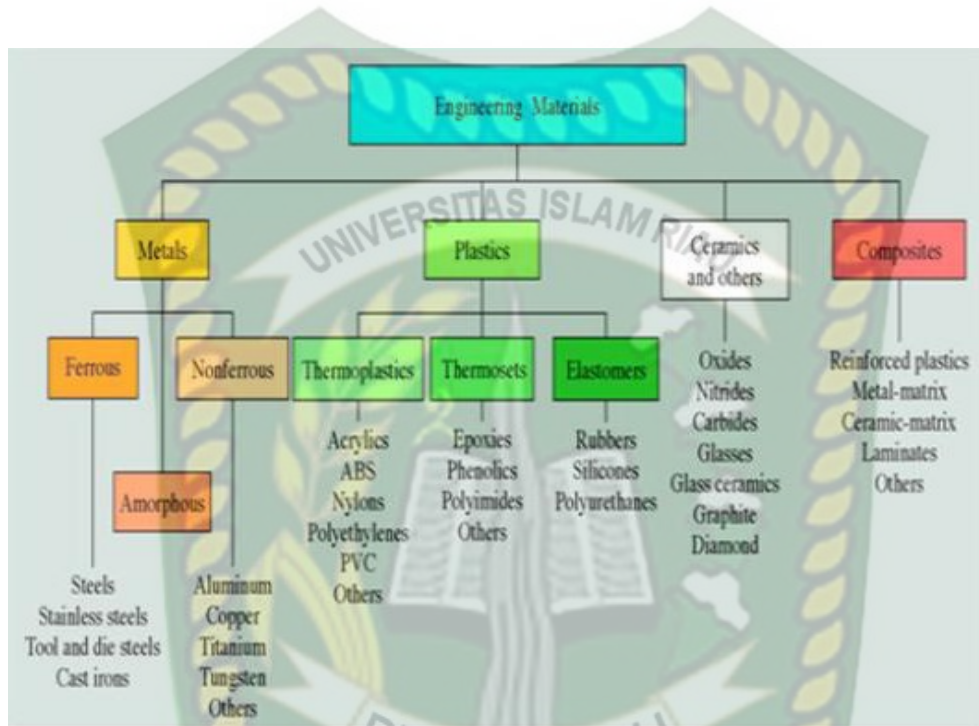
Tabel 2.1 Spesifikasi jenis elektroda (Harsono dan wiryosumarto,1996)

	jenis dan kelas	kadar karbon (%)	Kekuatan lulus (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Per-panjangan (%)	Kekerasan Brinell	Peng-gunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, kawat
	baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	alat-alat mesin
Baja karbon tinggi	baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	perkakas
	baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-Nop	180-235	rel, pegas, dan kawat piano

Posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- XX : Dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
- Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
 - Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan dibawah tangan
 - Angka 3 untuk pengelasan posisi dibawah tangan
- X : Angka keempat menyatakan jenis selaput dan arus yang cocok
Dipakai untuk pengelasan.

Secara umum, material dapat dikelompokkan atas 4 jenis yaitu, logam, polymer, keramik dan komposit. Material logam dapat dikelompokkan atas logam ferrous dan non ferrous. Klasifikasi material dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi material teknik

(http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_1_2278_199.pdf).

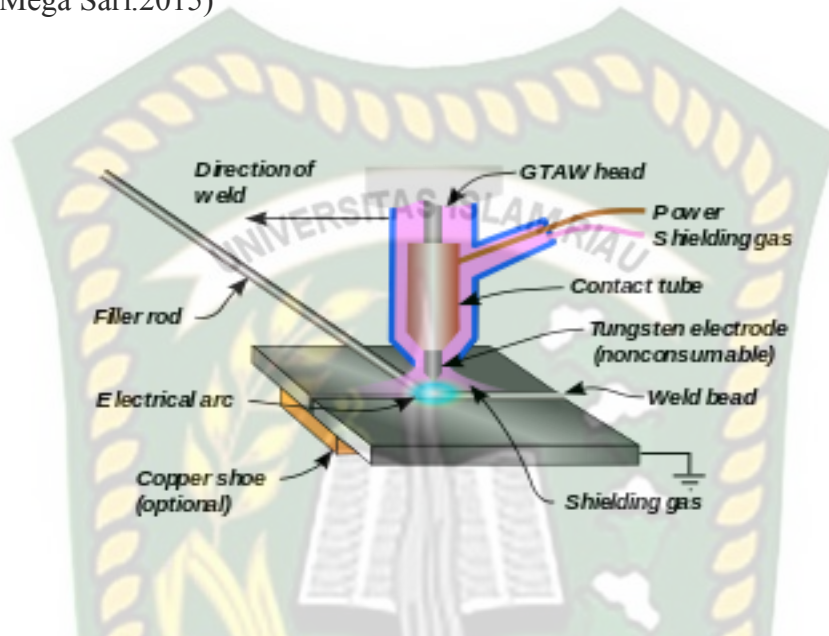
Berdasarkan pengelompokan di atas, maka baja termasuk pada kelompok logam ferrous.

2.2.3 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG)

Pengelasan dengan menggunakan GTAW banyak digunakan untuk mengelas bahan stainless steel. Hal ini disebabkan gas tungsten akan mengusir oksigen yang akan menimbulkan oksida logam yang hasilnya sangat keras. Dengan GTAW, oksida logam tersebut dapat dihindari terbentuknya.

GTAW atau yang sering disebut dengan Tungsten Inert Gas (MIG) adalah pengelasan dengan menggunakan busur nyala yang dihasilkan oleh elektroda tetap

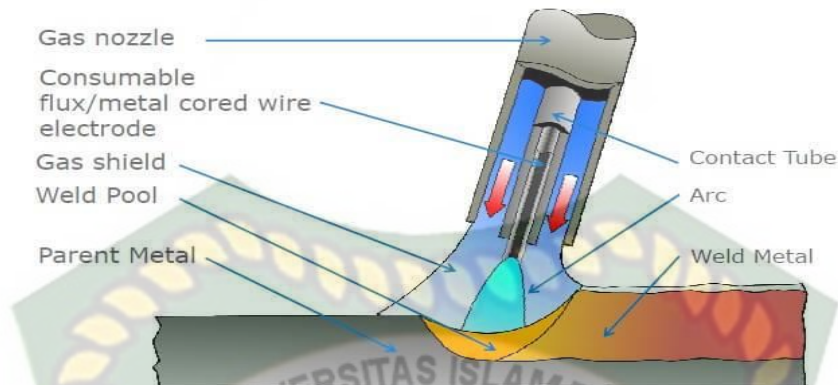
terbuat dari tungsten. Sedangkan sebagai bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari pistol las (welding gun). Pada proses pengelasan GTAW dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini. (Dani Mega Sari.2015)



Gambar 2.3 Proses Pengelasan GTAW (Dani Mega Sari.2015)

2.2.4 Gas Metal Arc Welding (GMAW/MIG)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah proses las listrik yang menggunakan busur listrik yang berasal dari elektrode yang dipasok terus-menerus secara tetap dari suatu mekanisme ke kolam las. Untuk mencegah terjadinya oksidasi, pengelasan ini dilindungi oleh aliran gas lindung yang dapat berupa gas aktif, misalnya CO₂, sehingga disebut Metal Active Gas (MAG) atau gas inert (misalnya argon) sehingga disebut Metal Inert Gas (MIG). Pada proses pengelasan GMAW dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini. (Ahmadil Amin.2015)

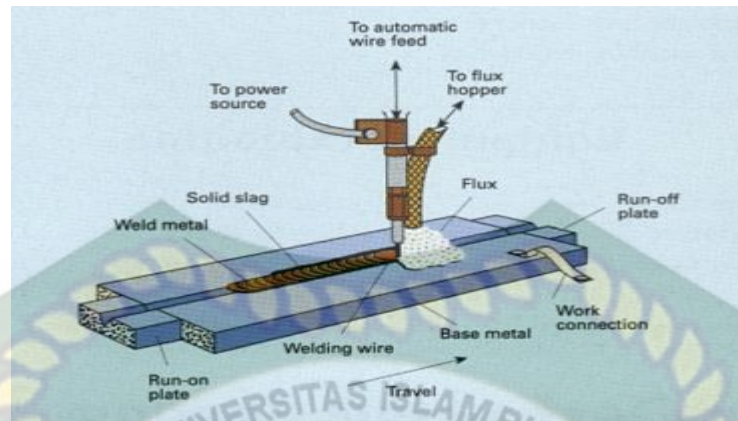


Gambar 2.4 Proses Pengelasan GMAW/MIG (Ahmadil Amin.2015)

2.2.5 Submerged Arc Welding (SAW)

Pengelasan dengan menggunakan metode SAW atau las busur terendam adalah pengelasan dengan prinsip logam cair ditutup dengan fluks yang diatur melalui suatu penampang, fluks dan logam pengisi yang berupa kawat pejal diumpangkan secara terus menerus sehingga pengelasan tersebut dapat dilakukan secara otomatis dan mudah dalam pengoperasiannya serta memiliki keandalan yang tinggi.

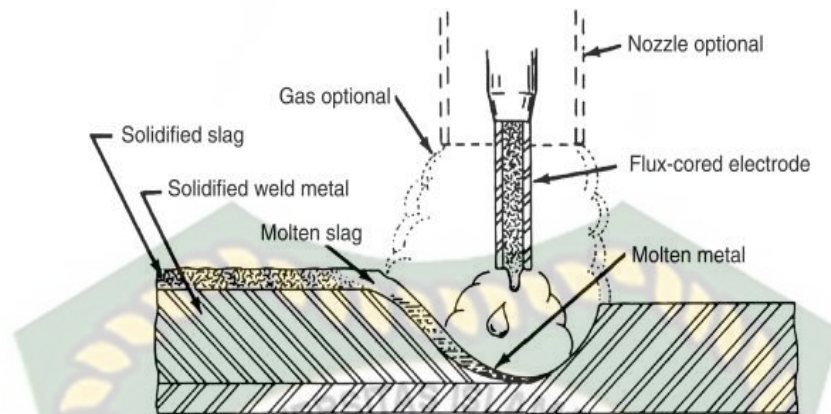
Submerged Arc Welding merupakan proses pengelasan otomatis dimana busur listrik dan logam cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks, sedangkan kawat pengisi diumpangkan secara kontinu. Karena panas yang hilang dalam bentuk radiasi sangat kecil maka efisiensi perpindahan panas dari busur listrik ke logam las sangat tinggi yaitu sekitar 90 %. Pada proses pengelasan SAW dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini. (Anang Setiawan.2006)



Gambar 2.5 Proses Pengelasan SAW (Anang Setiawan.2006)

2.2.6 Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Teknik penyambungan logam dengan pengelasan mulai dikembangkan sejak abad ke 19. FCAW (Flux Cored Arc Welding) merupakan las busur listrik fluk inti tengah / pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler kawat las secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler kawat las dan metal induk. Baja yang digunakan adalah baja karbon rendah yang juga disebut baja lunak, baja lunak ini adalah baja yang mudah dilas, dapat dilas dengan semua cara pengelasan (Ari Ardiansah.2019). Pada proses pengelasan FCAW dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 proses pengelasan FCAW (Ari Ardiansah.2019)

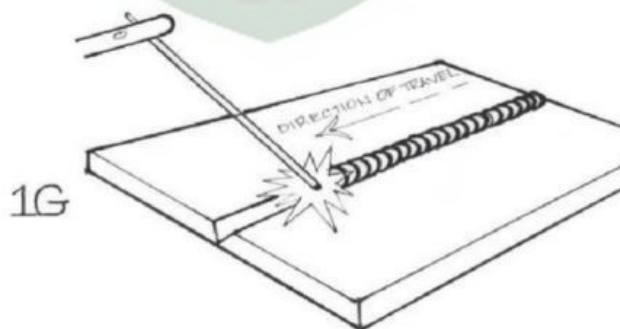
2.3 Posisi Pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan adalah peraturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Pada proses pengelasan terdapat berbagai macam posisi pengelasan yaitu pengelasan plat, fillet, dan pipa. Adapun macam- macam posisi sebagai berikut :

Adapun posisi pengelasan plat terdiri dari 4 macam ialah :

- Posisi 1G (Pengelasan Datar)

Bisa dilihat pada gambar2.7 berikut ini.



Gambar2.7: Pengelasan 1G (Davin R.k, 2017)

- Posisi 2G (Pengelasan Horizontal)

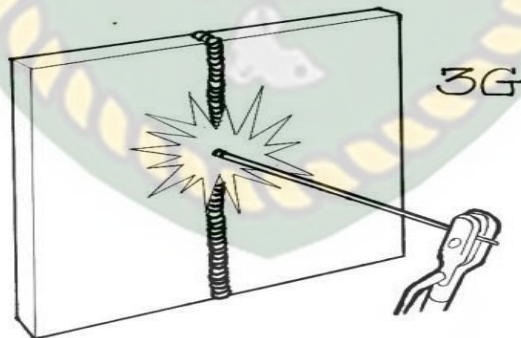
Bisa dilihat pada gambar2.8 berikut ini.



Gambar2.8: Pengelasan 2G (Davin Ridho K, 2017)

- Posisi 3G(pengelasan Vertical)

Bisa dilihat pada gambar2.9 berikut ini.

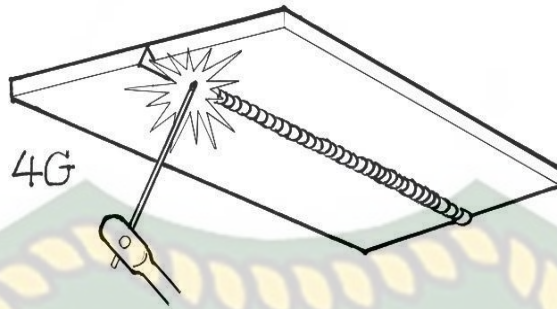


Bisa dilihat pada gambar2.9 berikut ini.

Gambar2.9: Pengelasan 3G (Davin Ridho K, 2017)

- Posisi 4G (Pengelasan Overhead / diatas kepala)

Bisa dilihat pada gambar2.10 berikut ini.



Gambar2.10: Pengelasan 4G (Davin Ridho K, 2017)

2.4 HeatInput

Heat input ialah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltage) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu (Davin Ridho, 2017)

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

Masukanpanas: $HI = \frac{V \times I \times 60}{s} \times 1000$

Dimana: $HI = \text{Masukan panas atau energy}$

(kJ/mm)

$I = \text{Arus (Ampere)}$

$V = \text{Voltase (Volt)}$

$s = \text{Kecepatan pengelasan (mm/s)}$

Dari analisis ini dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

Perhitungan Heat input diukur dari Ampere, volt dan kecepatan pengelasan pada tiap tahap dilakukan pada saat proses pengelasan dimulai, 4 tahap pada pengelasan ini, yaitu:

- Pengelasan *Root*
Proses pembuatan akar las, dimana istilah akar lasan ini disebut sebagai pondasi pada sambungan las.
- Pengelasan *Hot pass*
Proses kelanjutan setelah pembuatan root, biasanya menggunakan ampere tinggi.
- Pengelasan *Filler*
Proses pengisian lasan hingga mendekati bibir base material bagian atas, atau disebut pengisian hampir penuh.
- Pengelasan *Caping*
Proses terakhir dalam membuat sambungan butt joint.

2.5 Cacat pengelasan

Cacat las (*Weld defec*) adalah hasil pengelasan yang tidak memenuhi syarat kriteria yang sudah dituliskan di standar (ASME IX, AWS, API, ASTM). Penyebab cacat las dapat dikarenakan adanya prosedur pengelasan yang salah, persiapan yang kurang dan juga dapat disebabkan oleh peralatan habis pakai (*Consumable*) yang tidak sesuai standart.

Ada beberapa jenis cacat pada pengelasan antara lain yaitu :

2.5.1 Keropos (*porosity*)

Porosity ini disebabkan oleh las yang lembab atau basah, kampuh kotor, angin berhembus dipermukaan las, salah jenis arus, salah jenis polaritas, ampere capping terlalu besar. Akibatnya melemahkan sambungan tampak buruk mengawali karat permukaan. Penanggulangannya yaitu cacat digerinda hingga hilang kemudian dilas isi sesuai dengan pembuatan prosedur pengelasan, bisa dilihat dibawah ini adalah porosity pada gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 : *porosity* (<https://images.app.goo.gl>)

Penyebab Cacat Las Porositas:

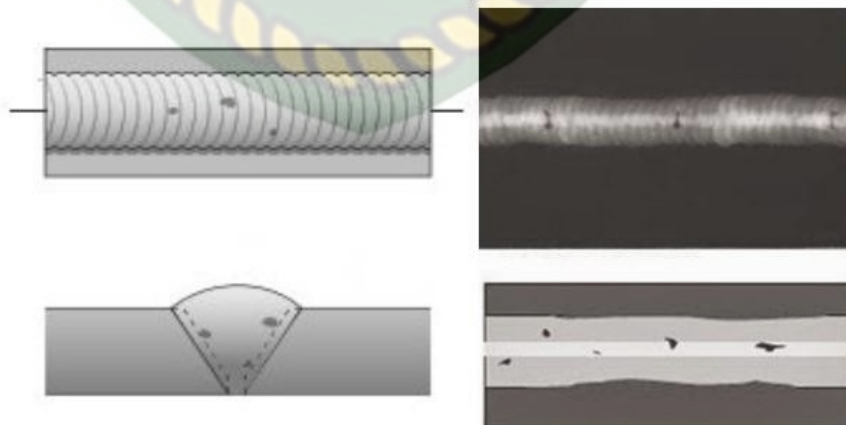
- Elektroda yang digunakan masih lembab atau terkena air.
- Busur las terlalu panjang.
- Arus pengelasan terlalu rendah.
- Travel Speed terlalu tinggi.
- Adanya zat pengotor pada benda kerja (karat, minyak, air dll).
- Gas Hidrogen tercipta karena panas las.

Cara Mengatasi Cacat Las Porositas:

- Pastikan elektroda yang digunakan sudah dioven (jika disyaratkan), jangan sampai kawat las terkena air atau lembab.
- Atur tinggi busur kurang lebih 1,5 x diameter kawat las.
- Ampere disesuaikan dengan prosedur atau rekomendasi dari produsen elektroda.
- Persiapan pengelasan yang benar, memastikan tidak ada pengotor dalam benda kerja.
- Untuk material tertentu panas tidak boleh terlalu tinggi, sehingga perlu perlakuan panas.

2.5.2 Tungsten Inclusion

Tungsten Inclusion yaitu cacat pengelasan yang diakibatkan oleh mencairnya tungsten pada saat proses pengelasan yang kemudian melebur menjadi satu dengan weld metal, cacat ini hampir sama dengan slag inclusion namun saat diuji radiografi tungsten inclusion berwarna sangat terang. Untuk jenis cacat las ini hanya terjadi pada proses pengelasan GTAW, bisa dilihat dibawah ini adalah tungsten inclusion pada gambar2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 : Tungsten Inclusion (Dwiky Tiarawati 2017)

Penyebab Tungsten Inclusion:

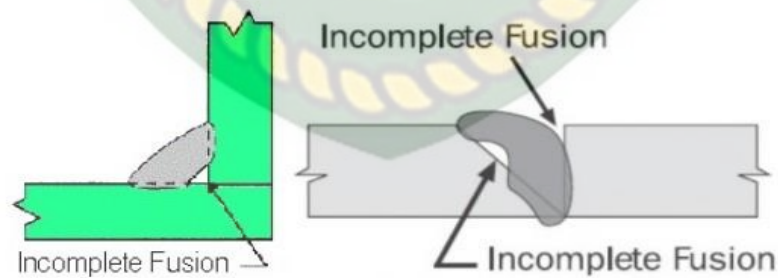
- Tungsten sudah tumpul saat proses pengelasan.
- Jarak tungsten terlalu dekat.
- Ampere terlalu tinggi.

Cara Mengatasi Cacat Las Tungsten Inclusion:

- Tungsten harus diruncingkan sebelum digunakan untuk mengelas.
- Jarak harus disesuaikan.
- Ampere mengikuti range yang ada di prosedur.

2.5.3 Incomplete Fusion

Incomplete Fusion ialah sebuah hasil pengelasan yang tidak dikehendaki karena ketidaksempurnaan proses penyambungan antara logam las dan logam induk. Cacat ini biasanya terjadi pada bagian samping lasan. x-ray namun indifikasinya akan dikelompokkan berdekatan, bisa dilihat dibawah ini adalah incomplete fusion pada gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 : Incomplete Fusion(<https://www.pengelasan.net/cacat-las/>)

Penyebab Cacat Incomplete Fusion:

- Posisi Sudut kawat las salah.
- Ampere terlalu rendah.
- Sudut kampuh terlalu kecil.
- Permukaan kampuh terdapat kotoran.
- Travel Speed terlalu tinggi.

Cara Mengatasi Cacat Incomplete Fusion:

- Memperbaiki Posisi Sudut Elektroda.
- Menaikkan Ampere sesuai dengan WPS atau Ampere Recommended.
- Sudut kampuh sesuai dengan yang di WPS.
- Melakukan persiapan pengelasan yang benar, membersihkan semua kotoran.
- Mengatur Travel Speed yang sesuai.

2.5.4 Percikan Las (*Spatter*)

Spatter ialah yang disebabkan oleh elektroda lembab, kampuh kotor, angin kencang, lapisan galvanisir, ampere capping terlalu tinggi. Akibat nya lasan tampak jelek, mengalami karat permukaan, pengulangan nya cukup dibersihkan dengan pahat. Pembersihan dengan gerinda tidak boleh mengingat akan makan bahan induk lasan, dan bisa dilihat gambar di bawah adalah percikan las atau spatter pada gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.14 : *Spatter* (Dwiky Tiarawati 2017)

Penyebab Spater atau percikan las berlebih:

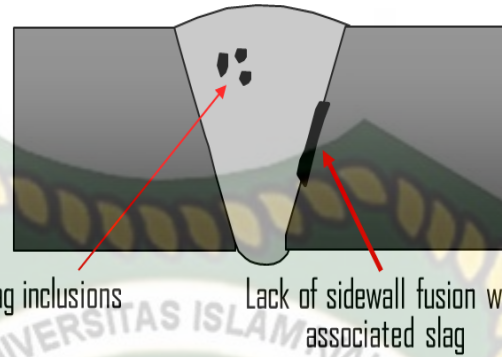
- Ampere terlalu tinggi.
- Jarak elektroda dengan base metal terlalu jauh.
- Elektroda lembab.

Cara mencegah terjadinya cacat pengelasan Over Spatter:

- Arus diturunkan sesuai dengan rekomendasi.
- Elektroda dioven sesuai dengan handbook (khususnya kawat las low hidrogen).

2.5.5 Slug Inclusion (*Inklusi terak*)

Slug inclusion ialah bahan padat tidak logam yang terperangkap dalam kolam lasan atau antara logam las dan logam dasar. Inklusi terk terjadi dalam penampang las atau dipermukaan lasan dimana slug sekali cair digunakan untuk melindungi logam cair secara mekanik yang terjebak dalam logam dipadatkan, bisa dilihat pada gambar 2.15 ini adalah slug inclusion berikut ini.



Gambar 2.15 : Slug inclusion (<https://2.bp.blogspot.com>)

Penyebab Cacat Las Slag Inclusion:

- Proses pembersihan Slag kurang, sehingga tertumpuk oleh lasan.
- Ampere terlalu rendah.
- Busur las terlalu jauh.
- Sudut pengelasan salah.
- Sudut kampuh terlalu kecil.

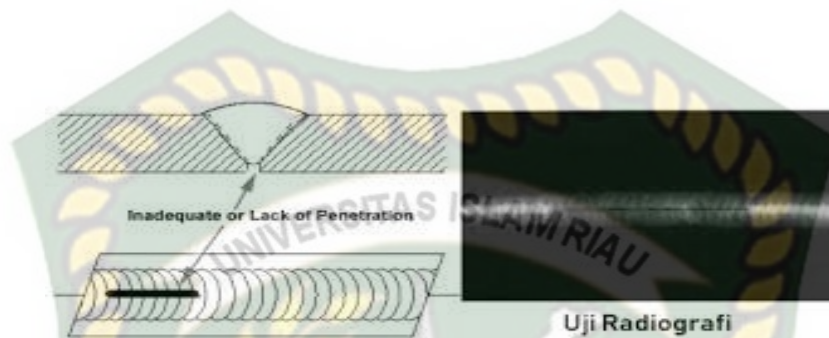
Cara Mencegah Cacat Slag Inclusion:

- Pastikan lasan benar benar berseih dari slag sebelum mengelas ulang.
- Ampere disesuaikan dengan prosedur.
- Busur las disesuaikan.
- Sudut pengelasan harus sesuai.
- Sudut kampuh lebih dibesarkan (50-70 derajat).

2.5.6 Incomplete Peneration

Incomplete Penetration (IP) ialah sebuah cacat pengelasan yang terjadi pada daerah root atau akar las, sebuah pengelasan dikatakan IP jika pengelasan pada

daerah root tidak tembus atau reinforcement pada akar las berbentuk cekung., dan dibawah ini adalah hot crack bisa dilihat pada gambar2.16 berikut ini.



Gambar2.16: Incomplete Peneration(<https://pengelasan.net/cacat-las/>)

Penyebab incomplete peneration :

- Travel speed terlalu tinggi.
- Jarak gap atau root opening terlalu lebar.
- Jarak elektroda atau busur las terlalu tinggi.
- Sudut elektroda yang salah.
- Ampere las terlalu kecil.

Cara Mencegah incomplete penetraion :

- Travel speed disesuaikan dengan WPS.
- Standar gap atau root opening 3-4 mm.
- Standar jarak elektroda 1,5 x diameter elektroda.
- Ampere disesuaikan dengan Welding Prosedur.

2.6 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon adalah salah satu besi karbon dengan campuran logam yang dapat berisi kandungan dari elemen campuran lainnya, Ada ribuan campuran didalam kandungan logam lainnya yang mempunyai perlakuan bahan dan komposisi berbeda-beda. Baja karbon merupakan bahan dasar inti untuk industri, semua jenis jenis alat seperti peralatan dapur, transportasi, generator, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja karbon.

2.6.1 Klasifikasi Baja Karbon

Berdasarkan tinggi rendahnya presentase karbon didalam baja, baja karbon diklasifikasi sebagai berikut:

A. Baja karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah terdapat mengandung karbon antara 0.10-0.25%C. baja karbon ini dalam pendistribusian dibuat dalam plat baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja tersebut,

B. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah ini mengandung karbon antara 0.30% s/d 0.60% C. Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti industri kendaraan, roda gigi, poros engkol, dan lain lain.

C. Baja Karbon Tinggi(*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi ini mengandung kadar karbon antara 0.60% s/d 1.7% C dan setiapsatu ton baja karbon tinggi mengandung 70-130 kg. Pada baja ini memiliki tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Pada baja karbon tinggi ini biasanya dijadikan dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan hasil jumlah karbon pada baja ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat alat perkakas seperti: palu , gergaji ,

pahat potong, mata bor, dan bisa dilihat tabel komposisi baja astm a36 pada tabel 2.1 berikut ini.

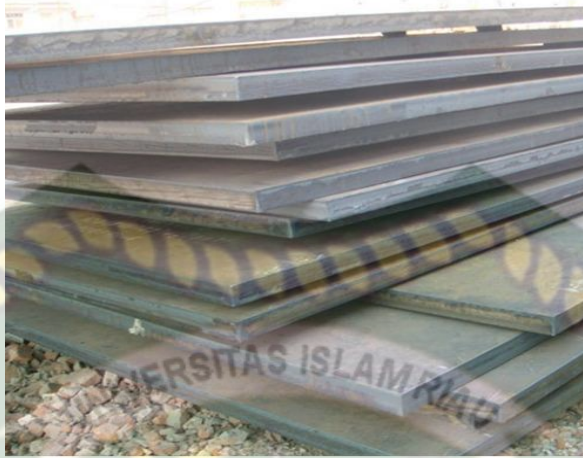
Tabel 2.2. Komposisi kimia yang ada pada baja ASTM A36

Komposisi (%)	Tebal Plat (mm)				
	≤20	20-40	40-65	65-100	>100
Karbon (C) max	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Mangan (Mn)	0.18-1.20	0.08-1.20	0.08-1.20
Fosfor (P) max	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur (S) max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon (Si) max	0.04 max	0.04 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Tembaga (Cu), Jika ditentukan	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Sumber : Sucipto Riadi Limbong (2016)

2.6.2 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 ialah salah satu golongan baja karbon rendah (*low carbon steel / mild steel*) karena memiliki kadar karbon kurang dari 0.25%. Baja ASTM A36 memiliki kekuatan yang baik dan sifat baja yang mudah dibentuk dengan mesin dan juga dilakukan pengelasan. Beberapa pengaplikasian baja ini ada pada konstruksi bangunan, tanki, pipa dan ada juga pada untuk industri lainnya, bisa dilihat baja astm a36 pada gambar 2.17 berikut ini.



Gambar 2.17 : Baja ASTM A36 (<https://images.app.goo.gl/SyMcidNq2b91unzd7>)

Di industri proses pengecekan atau analisa cacat las bisa dilakukan yaitu dengan menggunakan NDT (*Non Destructive Test*) yaitu teknik analisa untuk mengevaluasi suatu material tanpa merusak fungsi dari benda uji tersebut. ada beberapa jenis NDT antara lain ultrasonic test, penetrant test, magnetic particle test dan radiografi. Pada penelitian ini analisa sambungan las menggunakan radiografi sebagai berikut.

2.7 Radiografi (*Radiography Test*)

Dari review terdahulu Non destructive test oleh (Gholizadeh, 2016) dengan judul "A Review Of Non-Destructive Testing Methods of Composite Materials" menjelaskan bahwa setiap metode yang digunakan untuk peroses pengujian tidak merusak ini tergantung dari aplikasi penggunaannya serta komposisi dari bahan utamanya. Hal ini menunjukkan penggunaan aplikasi pengujian tidak merusak ini memiliki beberapa kelebihan dan keuntungan yang dapat diterapkan sesuai

dengan penempatannya. Diantaranya terdapat Uji Visual, Uji Radiography, Uji Magnetic, Uji Ultrasonic. (ASME B31.3)

Radiografi adalah salah satu metode yang digunakan dalam pengujian tanpa merusak atau Non - Destructive Test (NDT). Yang dimaksud ujian tanpa merusak ialah pengujian bahan tanpa merusak bahan yang diuji, Baik sifat fisik maupun sifat kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Uji radiografi bertujuan untuk melihat cacat didalam weld metal yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Pengujian radiografi pada dasarnya adalah penyinaran benda uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti x-ray dan gamma ray. Metode pengujian radiografi yaitu memancarkan sinar elektromagnetik (sinar - x dan sinar - y) ditembuskan kepada bahan lalu direkam dalam film khusus. Dari hasil rekaman film akan dapat diamati diskontinuiti bahan juga dapat diperoleh hasil rekaman yang permanen.

2.7.1 Sinar - x

Sinar x dihasilkan oleh elektron dengan kecepatan sinar tinggi. Energy ini kemudian diubah ke panas dan menghasilkan sinar x. Elektron ini diarahkan ke cermin (target) dalam ruangan hampa dan sinar tersebut memantul lagi melalui lubang tabung dan diteruskan menuju komponen yang diperiksa. Cara pemeriksaan yaitu bahan ditempatkan diantara tabung sinar x dan film. Jika bahan tersebut berat dan sejenisnya sama seluruhnya, film akan menerima pecahannya yang merata. Akan tetapi kalau ada cacat, seperti lubang didalam hasil penuangan atau dalam pengelasan, maka film tersebut dicuci akan terlihat noda hitam.

2.7.2 Sinar - y

Metode sinar - y ini secara fundamental mirip dengan metode sinar - x, tetapi perbedaannya adalah sumber cahayanya. Sumber cahaya gamma dihasilkan dari sumber radiasi yang dihasilkan dari isotop radioaktif dari sebuah reactor nuklir. Tidak seperti sinar - x yang mempunyai cahaya lurus, sinar gamma ini dapat mengarah ke segala arah. Cara pemeriksaan adalah film ditempatkan dibagian belakang benda. Apabila bahan tersebut cacat dibagian dalam maka bila

film dicuci akan tampak cacat hitam. Dalam perhitungan waktu ekspos pada penyinaran gamma ray bisa dilihat dibawah ini adalah gamma kalkulator sebagai hitungan waktu yang akan di ekpos bisa dilihat pada Gambar 2.18 berikut ini



Gambar 2.18: Gamma Kalkulator

Dimana :

1. Thicknes of material = Ketebalan material (mm)
2. Activity = aktivitas (curie)
3. Source to film distance = jarak sumber film (inch)
4. Film factor = faktor film (R)

2.7.3 Pesawat Gamma ray

Mesin ini digunakan untuk menyimpan, mengirim dan meyinari suatu objek yang dimana mesin tersebut berisikan sinar radioaktif. Fungsi untuk mengurangi paparan radiasi selama penggunaanya, dan bisa dilihat gambar dibawah ini yaitu Gambar 2.19.



Gambar 2.19 : Gamma -ray Ir-192 Steel (Davin ridho k. 2017)

2.7.4 Sumber Radioaktif Gamma Ray

Gamma ray ini menggunakan *radioisotope* yang digunakan untuk menyimpan sumber. Radioisotope yang digunakan dimasukan ke dalam kapsul untuk mencegah kebocoran radiasi. Setelah radioisotope dimasukan kedalam kapsul barulah kapsul diberi muatan atau sumber yang berfungsi sebagai pemancar saat digunakan untuk pengujian radiografy. Kapsul tersebut digunakan sebagai kabel untuk membentuk “ *pigtail* “, pigtail mempunyai konektor khusus pada ujungnya yang menyambung ke kabel yang digunakan untuk mengeluarkan sumber dari kamera gamma ray, bisa dilihat Gambar 2.20 dibawah ini.

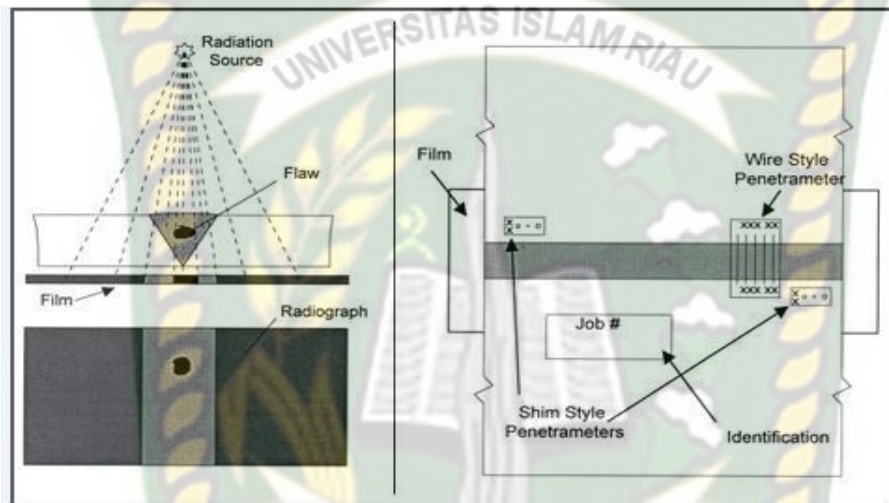


Gambar 2.20: Sumber Radioaktif *Isotop* Material (<https://www.nde-ed.org>)

Untuk keperluan pengujian tidak merusak dengan sendirinya harus menggunakan radioisotop yang mempunyai waktu setengah umur beberapa hari. Dalam hal ini biasanya digunakan *isotop cobalt* (Co) dan iridium (Ir). Karena radioisotop selalu memancarkan sinar – y maka apabila tidak dipakai harus disimpan dalam tabung pelindung yang terbuat dari timbal dan paduan *wolfarm*.

2.7.5 Prinsip kerja Radiografi

Prinsip kerja radiografyialah yaitu material yang akan dilakukan pengujian diletakkan dibawah sumber radiasi. Ketika sumber sinar – x / gamma ray dipancarkan ke material maka, radiasi akan menebus material, bagian terdalam material yang terdapat cacat maka akan terekam oleh film yang berwarna gelap, dibawah ini adalah prinsip kerja pada radiografi pada gambar2.21.

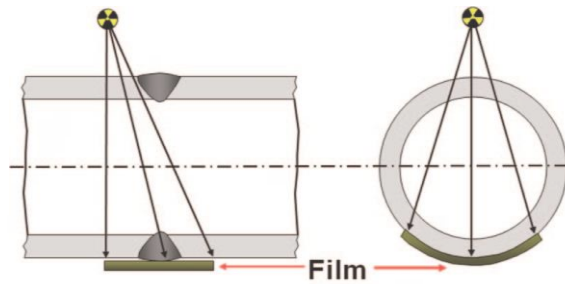


Gambar 2.21 : Prinsip kerja radiografi (Davin ridho 2017)

2.7.6 Metode Pengujian Radiografi

Single Wall Single viewing(SWSV)

Teknik penyinaran dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada film tergambar satu bagian dinding las untuk di interpretasi. Teknik single wall single viewing meliputi ,dan bisa dilihat dibawah ini adalah swsv pada gambar2.22 berikut ini:



Gambar 2.22 SWSV (<https://www.twiglobal.com>)

Internal image technique

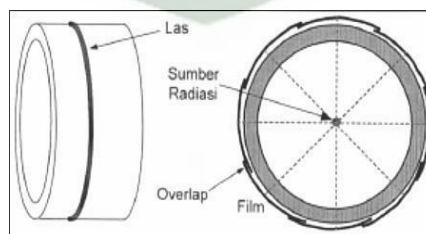
Film ini didalam benda uji dan sumber radiasi diluar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan source film distance minimal dan ada akses masuk kedalam pipa, dibawah ini adalah internal image technique pada gambar2.23 berikut ini.



Gambar 2.23 Internal image technique (Davin ridho,2017)

Panoramic technique

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan film hasil radiografi sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, dibawah ini adalah panoramic technique pada gambar2.24.



Gambar 2.24 Panoramic technique (<http://www.ndt.net.com>)

Double wall single viewing (DWSV)

DWSV ini metode dengan diterapkan pada benda uji berupa pipa dengan diameter lebih dari 100 mm. Posisi sumber ini sedemikian rupa sehingga radiasi dua dinding las sedangkan pada film hanya tergambar satu dinding las yang dekat dengan film untuk diinterpretasi, teknik double wall single viewing meliputi :

Ellips technique

Teknik ini dilakukan dengan posisi sumber radiasi membentuk sudut tertentu terhadap bidang normal las sehingga gambar kedua bagian dinding benda uji berbentuk ellips. Dibawah ini adalah ellips technique pada gambar 2.25 berikut ini.

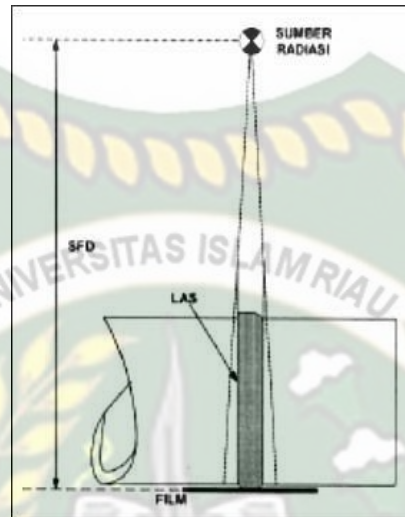


Gambar 2.25 Ellips technique (Davin ridho,2017)

Superimposed technique

Teknik ini sebagai alternatif bila teknik ellips tidak dapat diterapkan, maka teknik double wall single viewing dilakukan dengan meletakkan sumber tegak lurus terhadap benda uji sehingga gambar kedua dinding

benda uji bertumpuk, dan dibawah adalah superimposed technique pada gambar2.26 berikut ini.



Gambar 2.26 Superimposed technique (Davin ridho, 2017)

2.7.7 Pemilihan Image Quality Indicator (IQI)

Pemilihan image quality indicator yang tepat merupakan hal yang penting dalam pengembangan produk pengelasan karena hal tersebut terkait dengan sensitifitas suatu film radiografi. Sensitifitas merupakan ukuran kualitas dari suatu film terkait dengan detail dan cacat terkecil yang bisa diamati. IQI yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan wire type dan penempatan marker memilih metoda film side, dibawah ini adalah table IQI bisa dilihat pada tabel2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 pemilihan *image quality indicator*

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Setelah didapatkan nilai *wire type wire essential* atau *wire identity* maka selanjutnya

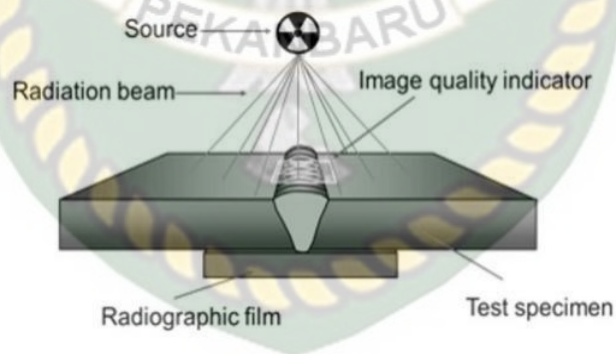
Tabel 2.3 *Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity*

Set A			Set B		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.0032	(0.08)	1	0.010	(0.25)	6
0.004	(0.10)	2	0.013	(0.33)	7
0.005	(0.13)	3	0.016	(0.41)	8
0.0063	(0.16)	4	0.020	(0.51)	9
0.008	(0.20)	5	0.025	(0.64)	10
0.010	(0.25)	6	0.032	(0.81)	11
Set C			Set D		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.032	(0.81)	11	0.100	(2.54)	16
0.040	(1.02)	12	0.126	(3.20)	17
0.050	(1.27)	13	0.160	(4.06)	18
0.063	(1.60)	14	0.200	(5.08)	19
0.080	(2.03)	15	0.250	(6.35)	20
0.100	(2.54)	16	0.320	(8.13)	21

Kemudian didapatkan data *wire diameter* berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. *Wire diameter* menunjukkan ukuran cacat atau diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada *film* radiografi tersebut. *wire identity* menunjukkan nomor *wire* minimal yang muncul pada film.

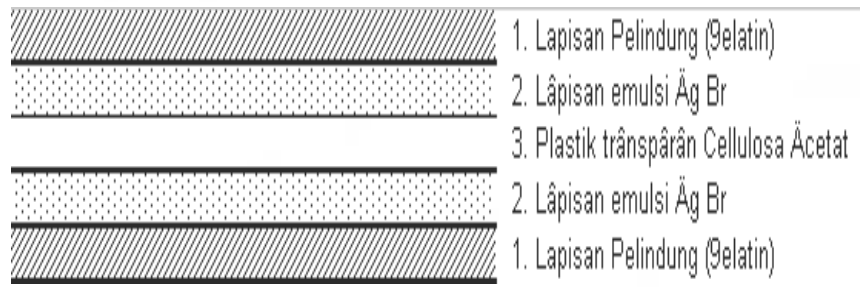
2.7.8 Film Radiografi

Film radiografi ialah salah satu alat yang digunakan dalam pengujian radiografi yaitu *film*. Film bertujuan untuk merekam gambar benda uji yang diperiksa. Bahan dasar film terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu *cellulosa acetat*, yang mempunyai sifat fleksibel, ringan, tidak mudah pecah dan tembus cahaya. Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan AgBr (perak bromida), untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin, dan dibawah ini adalah penyinaran dengan film radiografi bisa dilihat digambar 2.27 berikut ini.



Gambar 2.27 Penyinaran menggunakan film radiografi (Dwiky Tiarawaty, 2017)

Secara lengkap jenis jenis nama bagian film radiografi dapat dilihat pada gambar 2.28 berikut ini.



Gambar 2.28 Penampakan film radiografi dan jenis bagiannya

2.7.9 Sensitivitas Film Radiografi

Sensitivitas film radiografi ini sebelum dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. sensitivitas film radiografi ialah fungsi dari *contrast* dan *definition* dari film radiografi tersebut. Sensitivitas radiografi berhubungan dengan ukuran detail diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada film hasil radiografi atau kemudahan gambar detail diskontinuitas terkecil untuk dapat dideteksi. Sensitivitas radiografi memiliki kualitas citra yang baik maka dapat mendeteksi diskontinuitas yang baik. Dalam setiap pengujian radiografi digunakan alat uji standart yang disebut penetrometer atau sering disebut juga *image quality indicator* (IQI). Pemilihan parameter dan penempatannya harus sesuai dengan standart yang digunakan.

IQI ada dua macam yaitu wire dan hole akan tetapi semakin seringnya penggunaan radiografi dalam pengujian sering kali menggunakan type wire dikarenakan lebih praktis dan tentunya cepat tidak seperti halnya IQI hole karena harus terlebih dahulu mengukur tebal yang akan diuji dengan radiografi sehingga apabila ada perbedaan ketebalan maka akan diberi pemasangan ganjal IQI atau yang sering disebut “shims” maka pengujian ini memilirlah IQI yang bermodel wire. Standart IQI ASTM / ASME yang terdiri dari atas 21 kawat, yang disusun menjadi empat set dimana setiap set berisi enam kawat, dibawah ini adalah wire IQI dilihat pada gambar2.29 berikut ini.



Gambar 2.29 Wire Image quality indicator (<https://www.jemtesting.com>)

Sensitivitas indicator kualitas bayangan type kawat adalah persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada film hasil uji radiografi terhadap ketebalan material. Fungsi IQI antara lain :

- a) Digunakan sebagai media pengukur tingkat kualitas radiografi
- b) Menentukan kualitas gambar radiografi

2.8 Klasifikasi jenis film radiografi

Tabel 2.4 Klasifikasi film radiografi menurut AGFA GEVAERT (Dwiky Tiarawaty,2017)

Jenis Film	Faktor Paparan Relatif					Kelas ISO	Kelas DIN	Kelas ASTM
	100 kV	200 kV	Ir-192	Co-60	LINAC/8 MeV			
D2	10,6	8,7	9,0	10,0	10,0	G1	G1	Spesial
D3 sc	10,6	8,7	-	-	-	G1	G1	I
D3	4,1	4,2	5,0	5,1	5,1	G1	G1	I
D4	3,1	2,6	3,0	3,1	3,1	G1	G2	I
D5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	GII	G2	I
D7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	GIII	G3	II
D8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	GIII	G4	II
D6R	2,0	1,7	1,7	1,7	1,3	GIII	-	II

Film radiografi dikategorikan dengan cara mengkombinasikan faktor –faktor dan karateristik film. Ini pada pembahasan film ini adalah AGFA. Contoh kategori film AGFA bisa dilihat tabel 2.4 sebagai berikut :

Setiap perusahaan film memproduksi berbagai macam jenis film yang dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Film screen flourescent adalah film yang dalam penggunaanya memerlukan screen pengintensif flourescent dan dapat menghasilkan film dengan penyinaran yang minimum.
2. Film langsung adalah film yang dalam penggunaannya tidak memerlukan screen atau untuk penyinaran menggunakan screen timbal.

2.8.1 Pemilihan Film Radiografi

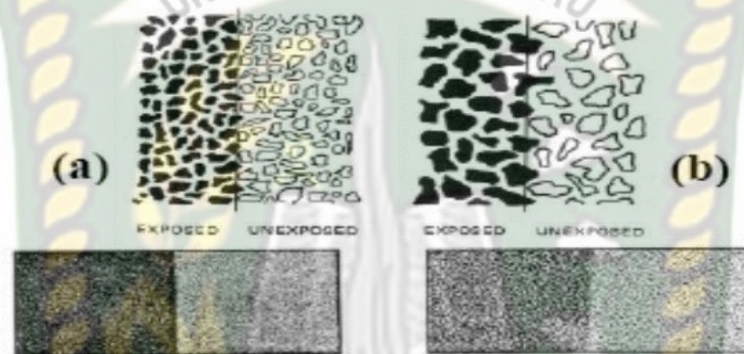
Pemilihan film radiografi ini tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih film dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor pemilihan film radiografi sebagai berikut :

1. komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula dan beratnya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar- x dari sistem pembangkit sinar- x .
3. Intensitas dari sumber sinar – γ atau tegangan yang tersedia dari sinar- x
4. Tingkat detail dari gambar dari gambar hasil radiografi dan ekonomi.

Pemilihan film untuk radiografi pada benda uji terutama tergantung dari ketebalan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (C_i) yang tersedia pada sumber *gamma-ray*. Pemilihan film juga tergantung kepada kualitas radiografi yang diinginkan dan waktu penyinaran. Jika kualitas radiografi yang

diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan yang film lambat (film dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan film cepat.

Berikut film mempengaruhi definition film radiografi. Film butiran besar (film cepat) seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan film berbutir kecil (film lambat) menghasilkan definition terbaik, dan bisa dilihat pada gambar 2.30 berikut ini adalah struktur butiran pada film radiografi.



Gambar 2.30 Struktur butiran film lambat (a) dan film cepat (b) (Davin ridho,2017)

2.8.2 Pemrosesan Film Radiografi

Saat pemrosesan film selesai dilakukan, selanjutnya film diproses sehingga citra laten yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemrosesan yang dipakai untuk mengubah suatu film yang telah terekspose menjadi film radiografi. Tahap – tahap pemrosesan film berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Developer

Developer ialah suatu larutan kombinasi zat kimia yang masing masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimia adalah *reducer* yang terbuat dari *metol* atau *hydroquinone*. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang

terekspose menjadi logam perak berwarna hitam. Seluruh bagian film tidak berubah menjadi hitam karena *reducer* dapat membedakan antara butiran yang terekspose dengan yang tidak terekspose. Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh developer.

Stop Bath

Setelah sebuah film dikeluarkan dari dalam larutan developer, maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di film tersebut. zat kimia yang digunakan didalam stop bath biasanya ialah asam asetat glacial. Fungsi dari stop bath yaitu :

- Menghentikan aksi developing dengan cara menetralkan zat basa developer (basa dan asam saling menetralkan)
- Menetralkan zat basa developer sebelum film dimasukkan kedalam cairan fixer sehingga memperpanjang umur fixer.

Fixer

Proses fixer ialah secara bertujuan untuk melarutkan dan menghilangkan kristal perak halida dari emulsi film, di dalam proses fixing terdapat dua tahap yang terpisahkan. Setelah pemrosesan dengan zat kimia, film dicuci dan dikeringkan. Film tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik – bintik air. Larutan ini membuat air dapat membasahi film dan menghasilkan pengeringan merata, bisa dilihat dibawah ini adalah pemrosesan pencucian film radiografi pada gambar2.31 berikut ini.



Gambar 2.31 Pemrosesan film radiografi (<https://www.google.com/ur>)

2.8.3 Interpretasi Hasil Film Radiografi

Setelah melakukan radiasi x-ray lalu dilakukan interpretasi terhadap film radiografi menggunakan alat viewer. Interpretasi bertujuan untuk melihat dan menentukan suatu cacat pada produk pengelasan. Yang kemudian hasil dari interpretasi akan dinilai dan dibandingkan dengan film-film hasil yang berbeda kondisi dan berbagai source film distance pemancaran radiasi radiografi. Penilaian akan dilihat pada densitas, variasi densitas, sensitivitas apa sudah memenuhi syarat sesuai ASME Sec.V 2010 dan bisa dilihat pada dibawah ini adalah viewer pada gambar2.32berikut ini.



Gambar 2.32 Viewer

2.9 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik ialah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Dari hasil pengujian tarik tersebut dapat diketahui pula sifat-sifat lain seperti kekuatan mulur, reduksi penampang, modulus elastis, dan lain-lain. (paduan buku pratikum pengujian merusak teknik mesin, 2017)

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tertentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. ada empat jenis uji coba yang bisa dilakukan, yaitu uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji gesek (*shear test*). Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan mendapatkan standarisasi seluruh dunia, misalnya di amerika dengan ASTM E8 dan jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana materal tersebut bertambah panjang. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gayalentur, bisa dilihat gambar dibawah ini alat uji tarik pada gambar2.33 berikut ini.



Gambar2.33 Uji Tarik (Yassir Maulana, 2016)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya(N)

A = Luas Penampang (mm²)

Regangan yang digunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal. Persamaannya yaitu:

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

Dimana :

ϵ = Regangan(%)

l_0 = Panjang Awal (mm)

l_f = Panjang Akhir(mm)

Pada pengujian tarik tersebut, gaya tarik yang didapat kan secara perlahan-lahan dimulai dari nol dan berhenti ditegangan maksimum (*Maximum Stress*) dari logam material yang bersangkutan. Maximum stress adalah titik batas maksimum material yang mengalami gaya tarik dari luar hingga mengalami fracture (patah), sedangkan Yield Stress merupakan batas kemampuan maksimum material untuk mengalami pertambahan panjang (melar) sebelum material tersebut mengalami fracture mengikuti hukum Hooke.

2.10 Mikro Struktur

Mikro Struktur ialah jenis pengujian material yang digunakan untuk melihat bagian material secara mikro. Bagian mikro tersebut adalah permukaan material yang terlihat akibat dilakukan pembesaran penglihatan yang menggunakan mikroskop, melalui pengujian tersebut pengujian ini akan mengetahui struktur mikro dari logam tersebut hal ini sangat penting karena apabila struktur mikro dari suatu logam telah diketahui maka sifat mekanis dari material tersebut juga akan dapat kita ketahui. (Paduan buku praktikum material pengujian merusak teknik mesin, 2017)

Hasil pengujian mikro struktur dapat digunakan untuk :

- Menentukan klasifikasi material
- Menentukan pemakaian material
- Quality Control (QC)

Adapun tahap tahap pada pengujian mikro struktur ialah :

1. Cutting, ialah mengetahui prosedur proses pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif.
2. Mounting, ialah menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.
3. Grinding, ialah meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasif atau ampelas.
4. Pemolesan (Polishing), ialah mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin, menghilangkan ketidakteraturan

sampel hingga menjadi bersih dan tanpacacat.

Adapun gambar dibawah ini yaitu MicroskopStrukturbisa dilihat pada Gambar 2.34 berikut ini.



Gambar2.34 Microskop Struktur

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Material ASTM A36 dilas dengan metode SMAW menggunakan elektroda E6010. Material hasil pengelasan selanjutnya akan dilakukan pengujian tarik, pengamatan mikrostruktur dan pengamatan adanya cacat pengelasan dengan radiografi. Pengujian dilakukan pada bulan Mei-Juni di beberapa tempat yaitu laboratorium material program studi Teknik Mesin UIR, laboratorium Politeknik Caltex Riau dan PT. Sucofindo di Dumai.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk proses penelitian adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan untuk melakukan proses penelitian adalah:

- **Mesin Las**

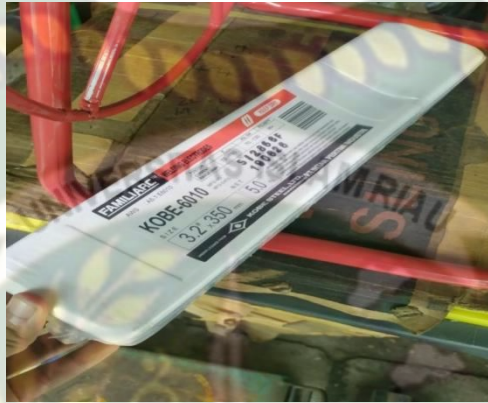
Penelitian ini menggunakan alat mesin las dengan arus AC, mesin las dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Mesin Las

- **Kawat Las E6010**

Pada penelitian ini memakai elektroda E6010 pada sambungan las, kawat las dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Kawat Las E6010

- **Termos Kawat Las (*Ing Dryer*)**

Pada penelitian ini termos kawat las untuk memanaskan/menghangatkan kawat las sebelum proses pengelasan, agar kawat las berada dalam keadaan kering pada saat digunakan. Kawat las yang lembab dapat menyebabkan poros pada sambungan las. Termos las dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Termos Kawat Las (*Ing Dryer*)

- **Mesin Polishing Dan Grinding**

Pada penelitian ini alat polishing dan grinding ini berfungsi untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen saat akan di lakukan pengamatan struktur mikro. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau dan spesifikasinya sebagai berikut :

Model : *Precipolish series FTP-2M*

Jenis motor : *AC/550W-GP with inverter*

Diameter piringan : 300 mm

Kecepatan putaran : 0-450 rpm

Mesin *Polishing* dan *Grinding* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Mesin *Polishing* dan *Grinding*

- **Kamera Gamma ray Ir-192**

Pada penelitian ini menggunakan alat kamera gamma x-ray Ir-192 untuk mendeteksi terbentuknya cacat pada sambungan las. Kamera gamma dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Kamera Gamma-ray Ir-192

3.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **Baja ASTM A36**

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah baja ASTM A36. Baja ini termasuk pada golongan baja karbon rendah. Baja ASTM A36 bisa dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Plate Baja ASTM A36

- **Nital**

Nital digunakan sebagai zat kimia untuk memunculkan struktur mikro pada saat pengamatan struktur. Nital dengan komposisi 2% merupakan campuran 2 ml HNO_3 dan 98 ml etanol. Nital dapat dilihat pada gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Nital

- **Aquadest**

Aquadest digunakan untuk membersihkan permukaan specimen setelah proses grinding dan polishing. Aquadest dapat dilihat pada gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Aquades

- **Amplas**

Amplas digunakan untuk meratakan permukaan specimen dan menghaluskan. Amplas yang digunakan dimulai dari grid rendah hingga tinggi (kasar hingga halus). Pada grid rendah amplas yang dipakai pertama kali yaitu amplas 400 yang kedua amplas 700 dan yang ke tiga amplas 1500. Dan pada masing masing grid mempunyai kecepatan dalam pengamplasan, yaitu grid rendah yaitu 400 memakai 300-250 Rpm, kemudian grid menengah yaitu 700 memakai 200-150, sedangkan grid yang halus 1500 memakai 100 Rpm. Amplas bisa dilihat pada gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 Amplas

- **Autosol**

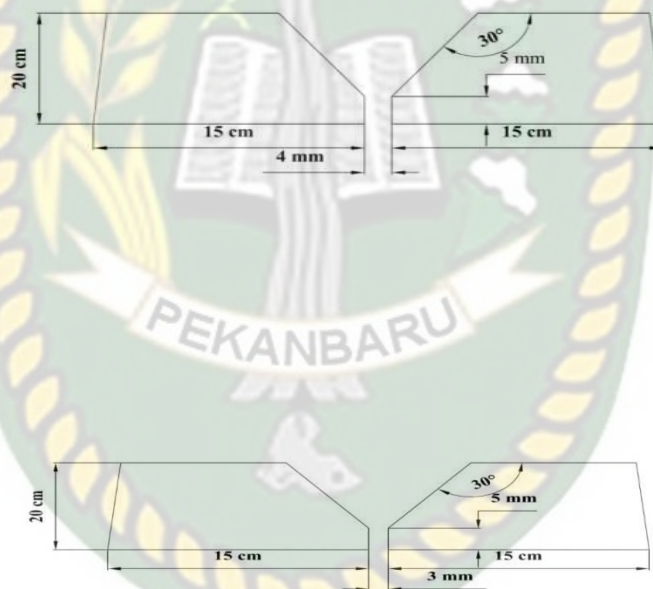
Autosol digunakan untuk menghilangkan bekas-bekas pengamplasan serta memberikan efek mengkilap pada permukaan specimen. Autosol dapat dilihat pada Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3.10 Autosol

3.3 Persiapan Material

Baja ASTM A36 yang digunakan pada penelitian ini berbentuk plat dengan ukuran tebal 10 mm, panjang 200 mm, dan lebar 150 mm. Plate dipotong sesuai ukuran. Untuk membuat kampuh V, salah satu sisi plate di potong dengan sudut 30° . Spesimen dipersiapkan sejumlah 6 buah, karena pengelasan akan dilakukan pada 2 variasi jarak kampuh las yaitu 3 mm dan 4 mm dengan variasi arus pengelasan 90 A, 100 A dan 110 A masing-masing. Dimensi spesimen material dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Dimensi spesimen material (Sumiyanto,2017)

Proses Pengelasan

Adapun langkah – langka kerja pengujian sebagai berikut :

- Persiapan Material

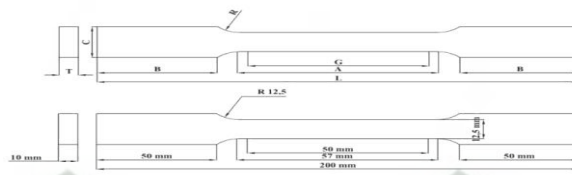
- Persiapan mesin las, kawat las, pemanas elektroda (ing drayer)
- Persiapan Bahan untuk melakukan pengujian yaitu plate baja ASTM A36
- Melakukan pengelasan pada plate baja ASTM A36 dengan tebal 10mm pada sambungan plate dengan metode SMAW, dengan menggunakan kawat las E6010 dengan diameter 3.2 mm dengan variasi arus 90 A dan jarak pengelasan 3 mm dengan elektroda E6010
- Setelah pengelasan selesai dilakukan pembersihan pada hasil sambungan las dengan gerinda untuk memperhalus permukaan pengelasan
- Dilakukan pengelasan pada spesimen kedua dengan arus 100 A dan tebal pada plate 10 mm dengan elektroda E6010
- Dan selanjutnya dilakukan pengelasan pada spesimen ketiga dengan arus 110 A dan tebal plate 10 mm dengan elektroda E6010
- Material hasil las kemudian dipersiapkan untuk dilakukan pengujian tarik, radiografi dan pengamatan struktur mikro.

3.4 Karakterisasi Material

Untuk mengetahui pengaruh arus dan jarak pengelasan terhadap kualitas hasil pengelasan, material kemudian dilakukan beberapa pengujian yaitu uji tarik, pengamatan struktur mikro dan pengecekan cacat las. Pengujian juga dilakukan untuk specimen awal tanpa pengelasan sehingga dapat dibandingkan hasilnya.

3.4.1 Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik sambungan las pada 6 spesimen dengan variasi arus dan jarak pengelasan. Spesimen hasil las dipotong mengikuti dimensi benda uji tarik sesuai standar ASTM E8. Alat uji tarik yang digunakan adalah HUNG TA HT -8503. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Politeknik Kampar. Dimensi benda uji dapat dilihat pada gambar 3.12 sebagai berikut.



3.12 Dimensi Benda Uji Tarik (M.Zaenal Mawahib,2017)



Gambar 3.13 Alat Uji Tarik

- **Prosedur Pengoperasian Alat Uji Tarik**

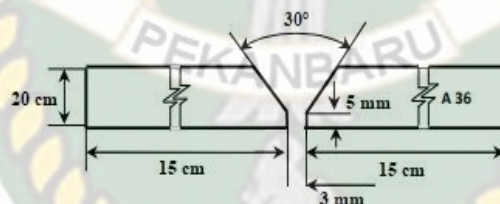
Langkah Langkah Pengoperasian Uji tarik :

 - a) Mengukur diameter dan luas area spesimen.
 - b) Memasukkan data spesimen yang telah diukur ke komputer.
 - c) Menyalakan mesin uji tarik.
 - d) Membuka kepala penjepit (*clamping head*) dan memposisikan spesimen.
 - e) Menjepitkan spesimen kedalam kepala penjepit (*clamping head*).
 - f) Menyalakan mesin uji tarik.
 - g) Lama penarikan sampai spesimen tersebut patah.

- h) Kurva penarikan akan tampil pada layar monitor tegangan dan regangan tarik.
- i) Mematikan mesin uji tarik.
- j) Melepaskan spesimen yang telah diuji dari penjepit (*clamping head*).

3.4.2 Radiografi

Pengujian radiografi dilakukan untuk melihat cacat pada weld metal yang sudah dilakukan pengelasan yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Untuk standart pengujian radiografi yaitu ASME B31.3. Alat uji yang digunakan adalah Kamera Gamma-ray Ir-192 , Pengujian Radiografafi dilakukan di PT Sucofindo Dumai. Dimensi Pengujian radiografi dapat dilihat pada gambar 3.14 sebagai berikut.



Gambar 3.14 Ukuran spesimen radiografi(Sarjito jokosisworo,2017)



Gambar 3.15 Kamera Gammaa Ir-192 Steel

Langkah-Langkah Pengujian Radiografi sebagai berikut:

- Alat Proteksi radiasi dikenakan oleh seluruh personil yang terlibat, alat tersebut dikalibrasi dan dicatat dosis awalnya. Kalibrasi dan pencatatan dosis dilakukan oleh petugas proteksi radiasi.
- Monitor dan tali kuning dipasang sebagai tanda dan pembatas area radiasi.
- Kolimator dipasang pada kedudukan mesin x-ray sesuai posisi yang sudah diukur sebelumnya dengan film berada dibawah kolimator (teknik SWSI).
- Tegangan tabung, arus tabung, dan waktu pemaparan diatur pada controller sesuai nilai yang telah ditentukan sebelumnya.
- Mesin x-ray dihidupkan dengan memutar kunci dan menekan tombol ON pada controller.
- Dilakukan pemaparan dan ditunggu sampai waktu pemaparan selesai sehingga alarm dari mesin x-ray berbunyi.
- Petugas proteksi radiasi masuk terlebih dahulu mengukur dosis radiasi menggunakan surveymeter.
- Setelah dinyatakan aman, kolimator diambil, kemudian dipisahkan film dengan kolimator, film yang sudah dipapar radiasi ditandai. Film baru pada kolimator untuk dilakukan pemaparan selanjutnya.
-

3.4.3 Pengamatan Mikro Struktur

Spesimen bahan uji pengamatan mikro struktur yang digunakan adalah jenis baja karbon rendah ASTM A36. Bisa dilihat struktur mikro pada gambar 3.16 sebagai berikut.



Gambar 3.16 Mikroskop Struktur

Sebelum material diamati struktur mikronya maka perlu dilakukan persiapan sebagai berikut :

Material dipotong menjadi ukuran 200 mm x 150 mm x 10 mm. Pada potongan material tersebut ada daerah lasan, HAZ dan logam induk. Material diampas mulai dari grid kasar hingga halus untuk mendapatkan permukaan yang rata dan bersih. Bekas goresan dari ampas kasar akan dihilangkan oleh ampas yang lebih halus. Material dibersihkan dengan air dan aquadest setelah proses ampas selesai. Selanjutnya material di poles dengan alumina untuk menghilangkan goresan dan mendapatkan permukaan yang kilap bebas goresan. Setelah dibersihkan dengan air dan aquadest, material dikeringkan dan selanjutnya dilakukan etsa dengan nital 2% agar struktur mikro material dapat dilihat di bawah mikroskop.

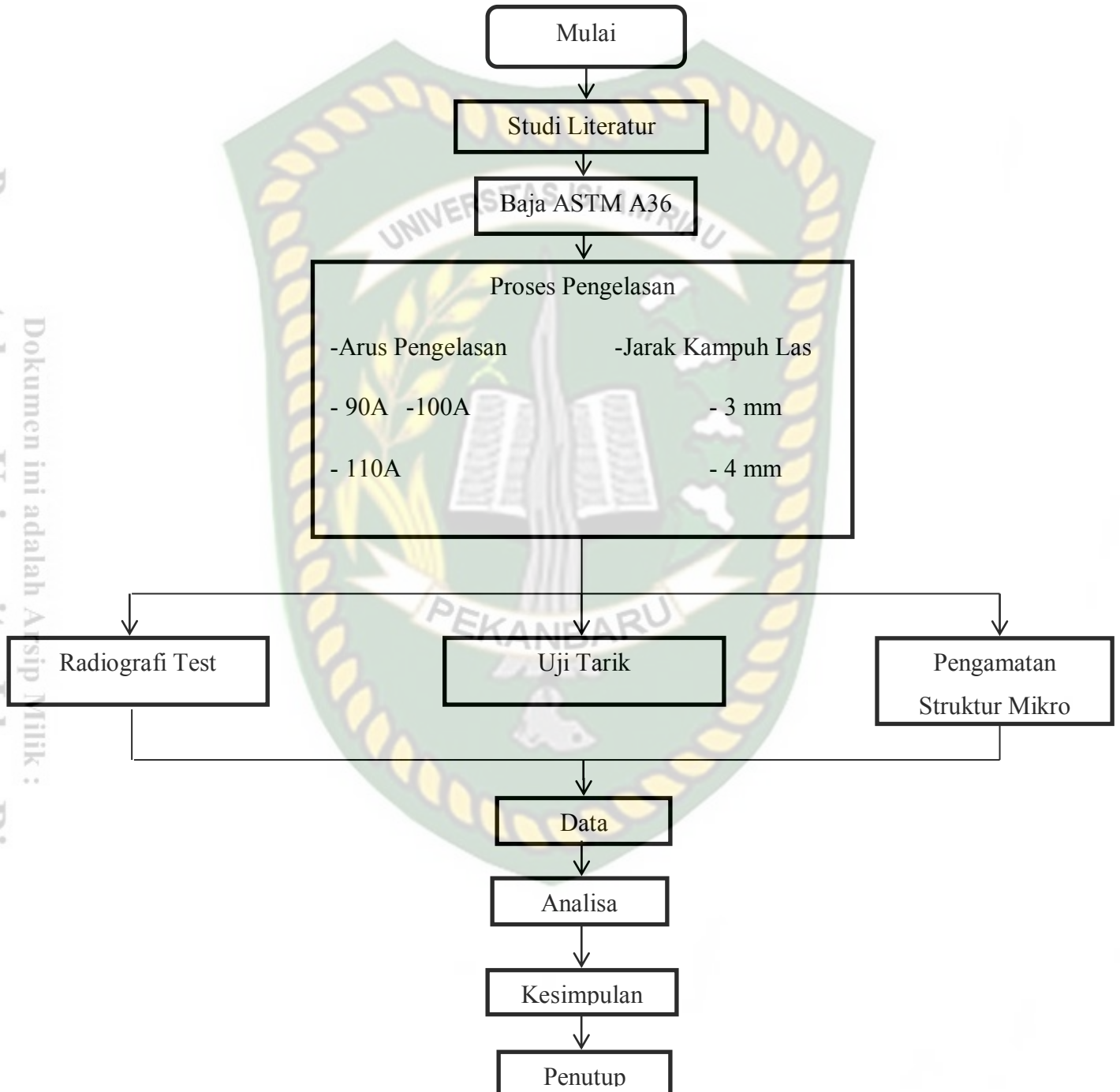
Selanjutnya pengamatan struktur mikro dengan mikroskop dilakukan dengan tahapan berikut :

- a) Menyalakan komputer unit.
- b) Membuka software olympus stream basic untuk pengoperasian mikroskop optik.
- c) Menyalakan mikroskop optik dengan menekan saklar utama.
- d) Pilihlah pencahayaan mikroskop optik untuk pengamatan dengan menarik tuas pada analyzer (pilihan: 1.Mata, 2. Mata dan Kamera, 3. Kamera)
- e) Letakkan spesimen di atas meja pengamatan mikroskop optik.
- f) Atur posisi spesimen tepat dibawah lensa pengamatan dengan memutar handle turun naik meja pengamatan dan handle kontrol XY meja disebelah kanan meja pengamatan.

- g) Atur penerangan lensa pengamatan dengan memutar tombol pada polarisas condenser dibawah meja pengamatan.
- h) Atur lensa pengamatan dengan perbesar paling rendah terlebih dahulu, setelah spesimen terlihat kemudian perbesar dinaikkan satu persatu ukuran lensa hingga perbesar maksimal.
- i) Setelah struktur spesimen yang diinginkan terlihat, kunci meja pengamatan dengan tuas kecil dihandle kontrol XY.
- j) Struktur spesimen di foto dengan software olympus stream basic. Klik pilihan snapshot lalu save image dengan format tif.
- k) Jika telah selesai pengamatan, turunkan meja pengamatan, kembalikan lensa pengamatan ke perbesaran yang paling rendah, matikan penerangan lensa pengantar kembalikan pencahayaan mikroskop optik pada posisi 1.
- l) Matikan mikroskop optik dengan menekan saklar utama.
- m) Tutup software olympus stream baasic.
- n) Shut down komputer unit.

3.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada gambar 3.17 sebagai berikut.



Gambar 3.17 Diagram Alir

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan dijelaskan pengaruh arus dan jarak kampuh las terhadap baja ASTM A36 yang di las dengan metode SMAW. Arus yang digunakan adalah 90A, 100A dan 110A sedangkan jarak kampuh las adalah 3 mm & 4 mm. Keterangan material, elektroda dan posisi pengelasan dapat dilihat pada Table 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi pengelasan

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	ASTM A36
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 6010
Filler metal diameter	3,2 mm
Posisi pengelasan	1G





Pada penelitian ini digunakan material Baja ASTM A36 yang memiliki komposisi baja karbon rendah 0,10% - 0,25%, Dengan tebal plat 10 mm, dan elektroda yang digunakan adalah E6010 dengan komposisi Karbon (C), Mangan (Mn), Fosfor (P), Silikon (SI), dan Sulfur (S). dengan filler metal berdiameter 3.2 mm, dan Posisi pengelasan 1G adalah posisi pengelasan datar pada spesiemen plat baja karbon rendah.

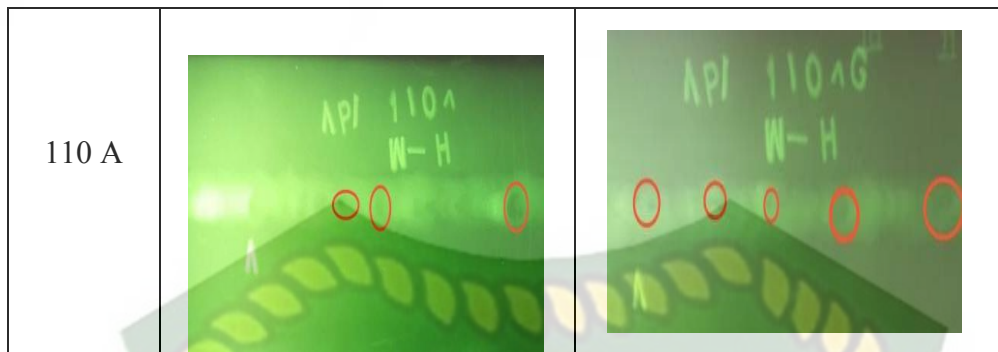
4.1 Hasil Radiografi Test

Radiografi test dilakukan menggunakan Ir-192 steel di PT.Sucofindo cabang Dumai. Pengujian radiografi pada sambungan las plat baja ASTM A36 ini bertujuan untuk mendapatkan informasi adanya cacat pada sambungan las. Di

industri, ketika cacat las tersebut jumlahnya sedikit, hal ini berdasarkan rekomendasi dari tim analisis radiography (AR) maka keberadaan cacat las tersebut bisa diterima oleh konsumen, ketika cacat las pada sambungan las tersebut terlalu banyak, maka hasil sambungan las tersebut akan di diperbaiki dengan cara membersihkan pengelasan sebelumnya dan mengulang kembali proses pengelasan dengan kondisi pengelasan disesuaikan berdasarkan dengan analisa cacat yang terbentuk sebelumnya (*Reject/Reuse*).

Data hasil pengujian radiografi ini diperoleh berupa film hasil pengamatan pada sambungan las plat baja ASTM A36. Film hasil radiografi ini ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.

Arus	Jarak Kampuh Las 3 mm	Jarak Kampuh Las 4 mm
90 A		
100 A		



Gambar 4.1 Hasil Radiografi pada sambungan las

Berdasarkan Gambar 4.1 maka cacat porositas yang terjadi posisinya bisa berada ditengah lasan dan bisa juga terjadi di daerah samping kanan / samping kiri dari batas A & B. Cacat yang terbentuk pada jarak kampuh las pada hasil sambungan dengan jarak kampuh las 3 mm relatif lebih sedikit dibandingkan cacat yang terbentuk pada jarak kampuh las 4 mm. Arus pada 110A jumlah cacat terlihat lebih banyak dari pada arus 90A dan 100A.

4.2 Hasil Pengujian Tarik

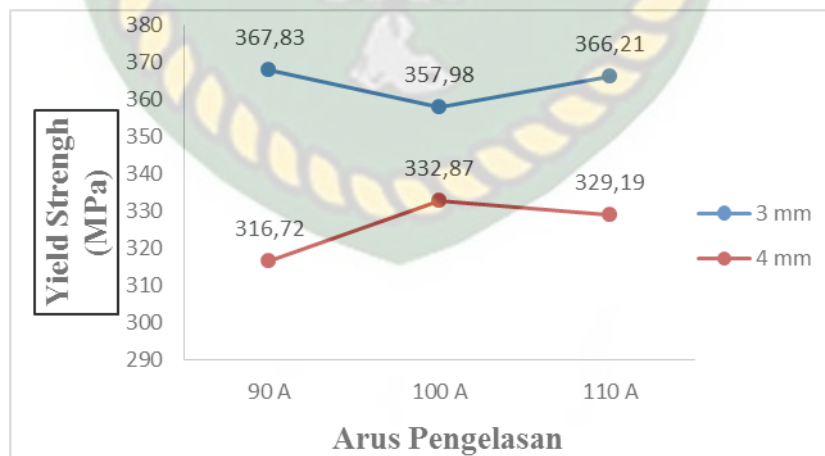
Pengujian tarik dilakukan menggunakan UTS (*Universal Testing Machine*) dengan merk HUNG TA HT-8503 di Politeknik Kampar. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari plat baja ASTM A36 sebagai bahan uji dalam pengujian ini. Hasil pengujian tarik ini didapatkan kekuatan tarik (*Tensile Strength*) maupun kekuatan luluh (*Yield Strength*). Keuletan bahan yang ditunjukkan dengan persentase perpanjangan dari persentase kontraksi atau reduksi penampang (*Reduction Of Area*).

Data hasil pengujian tarik pada sambungan las dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data hasil uji tarik

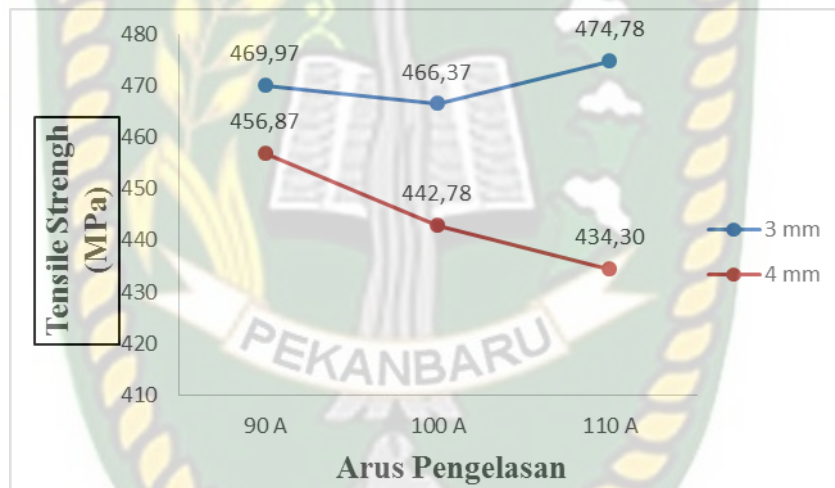
Spesimen	Arus (A)	Jarak Kampuh las (mm)	Area (mm ²)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	90A-1	3 mm	121.875	367.83	469.97	22.9
2	100A-1	3 mm	121.387	357.98	466.37	23.2
3	110A-1	3 mm	121.875	366.21	474.79	24
4	90A-2	4 mm	121.387	316.72	456.87	30
5	100A-2	4 mm	121.875	332.87	442.78	20.9
6	110A-2	4 mm	122.363	329.19	434.30	20.9

Berdasarkan data tabel diatas maka dibuat grafik hasil *Yield Strength*, *Tensile Strength* dan *Elongation* seperti Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 sebagai berikut.



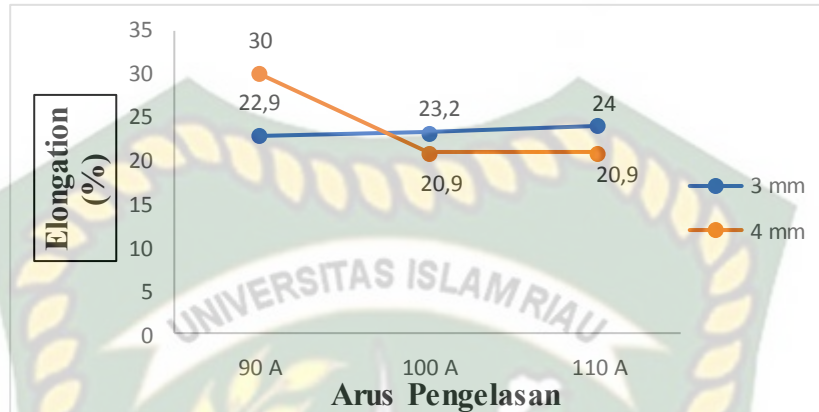
Gambar 4.2 Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)

Secara keseluruhan dari Gambar 4.2 terlihat bahwa *Yield Strength* untuk sambungan las dengan jarak kampuh 4 mm lebih rendah dibanding jarak kampuh 3 mm. Pada jarak kampuh 3 mm nilai *Yield Strength* terendah ditunjukkan pada pengelasan arus 100A. Sedangkan pengelasan dengan arus 90A dan 110A memiliki *Yield Strength* lebih kurang sama hanya berbeda 1 MPa. pada jarak 4 mm *Yield Strength* tertinggi ditunjukkan oleh pengelasan pada arus 100A yaitu 332.87 MPa.



Gambar 4.3 Tensile Strength

Secara keseluruhan pada Gambar 4.3 terlihat bahwa *Tensile strength* untuk sambungan las dengan jarak kampuh 4 mm lebih rendah dibanding kan pada jarak kampuh las 3 mm. Pada jarak kampuh 3 mm nilai *Tensile strength* terendah ditunjukkan pada pada arus 100A. Sedangkan pada arus pengelasan 90A dan 110A dengan jarak kampuh 3 mm nilai *Tensile strength* tertinggi pada pengelasan dengan arus 110A adalah 474.78 MPa. Pada jarak kampuh las 4 mm nilai *Tensile strength* tertinggi ditunjuk kan oleh pengelasan pada arus 90A yaitu 456.87 MPa.



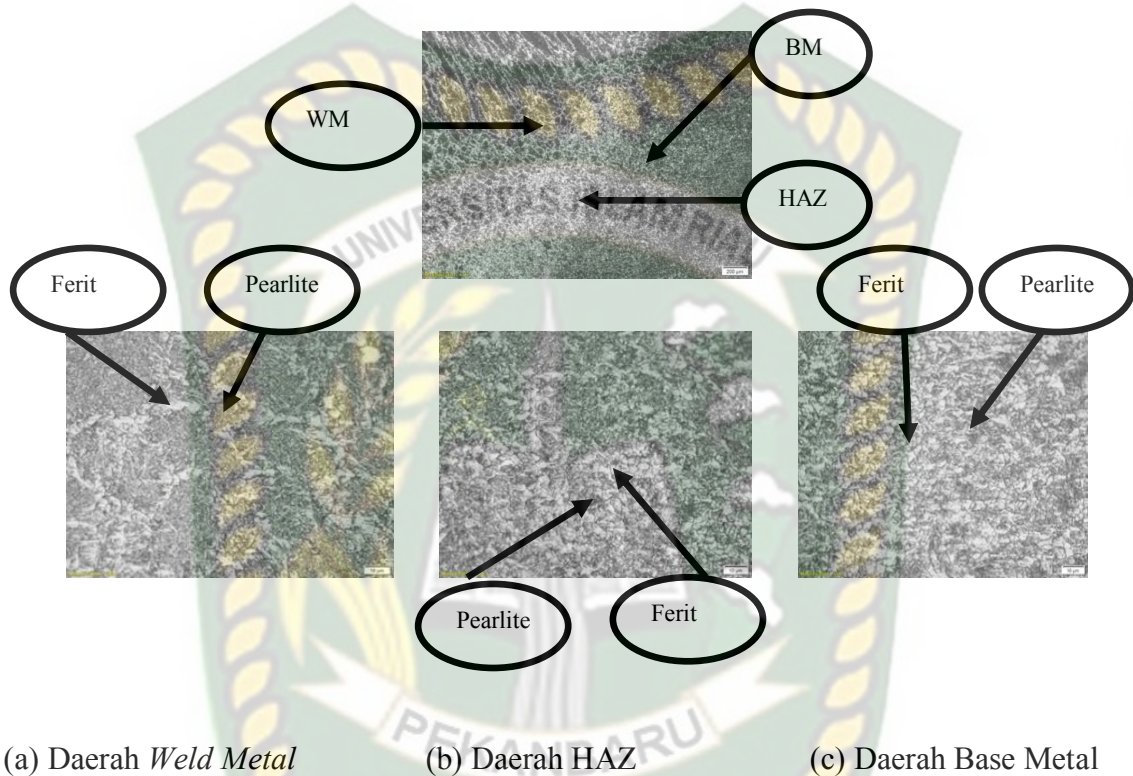
Gambar 4.4 Keuletan (*Elongation*)

Berdasar dari hasil grafik *elongation* diatas pada jarak kampuh las 4 mm lebih rendah dibandingkan jarak kampuh las 3 mm. Pada jarak kampuh las 3 mm nilai Elongation terendah ditunjuk pada arus 90A. Sedangkan pada arus pengelasan 100A dan 110A dengan jarak kampuh las 3 mm nilai Elongation tertinggi. Pada pengelasan dengan arus 110A dengan nilai 24%, Sedangkan pada jarak kampuh las 4 mm nilai Elongation tertinggi oleh pengelasan pada arus 90A dengan nilai Elongation 30%.

4.3 Hasil Pengamatan Metalografi

Pengamatan unsur unsur pada uji struktur mikro yang dilakukan dengan mengambil hasil pengamatan uji struktur mikro pada material baja ASTM A36 dengan menggunakan Mikroskop Optik laboratorium Mataerial Teknik Universitas Islam Riau dengan pembesaran 5x. Pengamatan yang dilakukan pada uji struktur mikro dilakukan dengan mengambil 3 sampel. Selanjutnya masing-masing foto mikro diamati struktur butir dan batas butir untuk mengetahui pengaruh unsur pada struktur mikro material. Pengamatan dilakukan pada tiga tempat yaitu *weld metal*

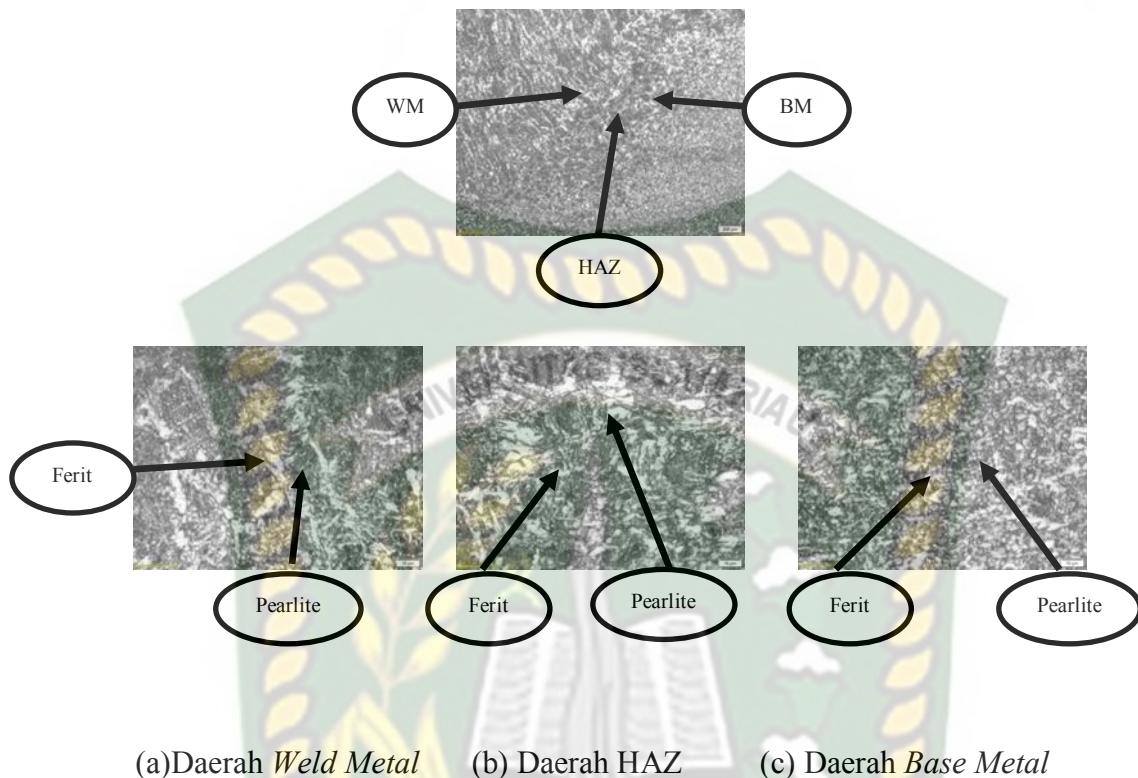
(WM), *heat affected zone* (HAZ) dan *base metal* (BM). Pada hasil mikro struktur sampel yang dilas dengan arus 90 A jarak kampuh 3mm dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur Sampel 90A- 3 mm

Foto Mikrostruktur memperlihatkan tiga daerah berbeda yaitu WM, HAZ dan BM. Terhadap masing-masing daerah dilakukan pengamatan lebih detail dengan perbesaran lebih tinggi seperti terlihat pada Gambar 4.5 a), 4.5 b) dan 4.5 c). Pada daerah *weld metal* diperoleh fasa ferit dan perlit, demikian juga pada daerah HAZ dan *base metal*. Namun demikian distribusi fasa tidak sama pada ketiga daerah tersebut. Pada daerah WM, ferit terdistribusi di batas butir mengelilingi pearlite. Namun pada HAZ, batas butir pearlite tidak lagi terlihat. Pada BM fasa ferit terlihat mendominasi dan tidak terkonsentrasi pada batas butir seperti pada daerah WM.

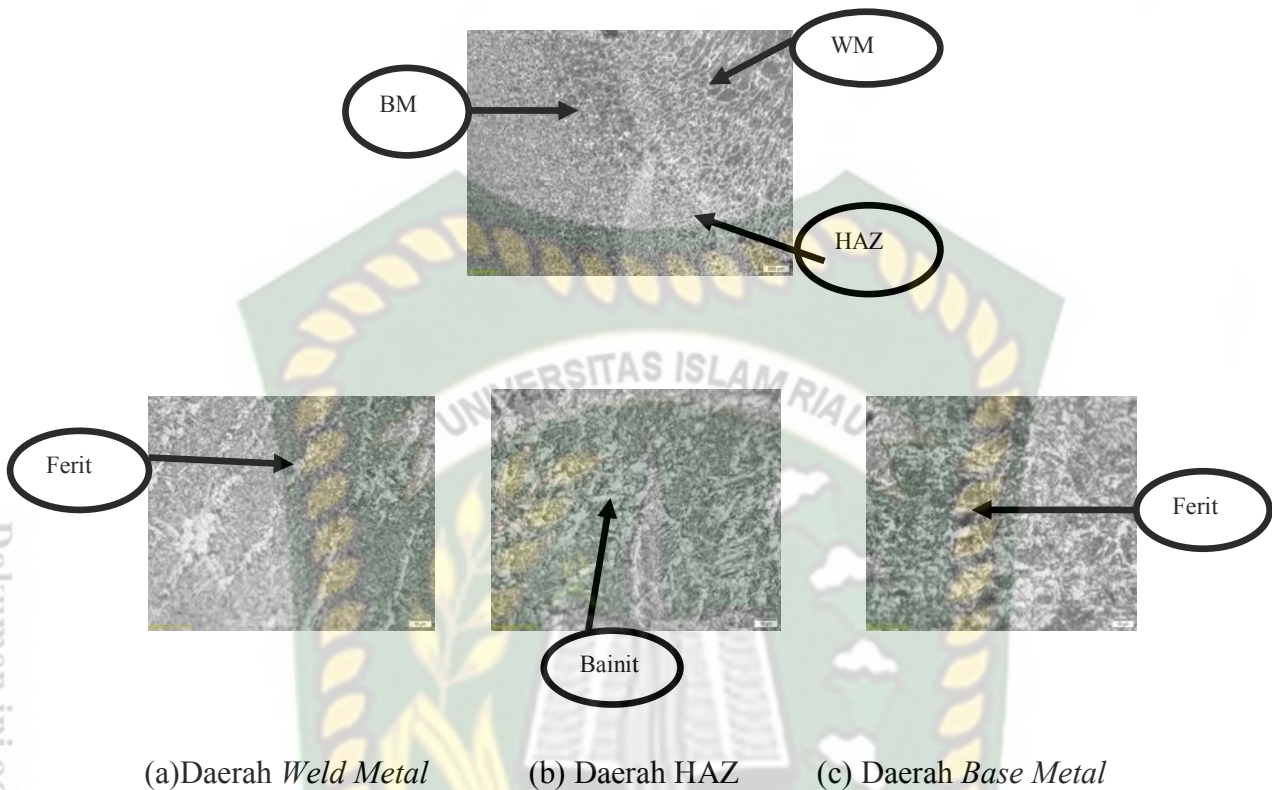
Foto mikro sample yang dilas dengan arus 110 A jarak kampuh las 3 mm dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Foto Mikrostruktur Sampel 110A - 3 mm

Foto Mikrostruktur memperlihatkan tiga daerah berbeda yaitu WM, HAZ dan BM. Terhadap masing-masing daerah dilakukan pengamatan lebih detail dengan perbesaran lebih tinggi seperti terlihat pada Gambar 4.6 a), 4.6 b) dan 4.6 c).). Pada daerah *Weld metal* diperoleh fasa ferit dan perlit, demikian juga pada daerah HAZ dan *base metal*. Pada daerah WM daerah Ferit mengikuti pearlite, dan daerah pearlite bentuk memanjang, sama juga pada daerah HAZ yang memiliki daerah ferit dan pearlite seperti WM. Pada BM fasa ferit terlihat mendominasi dan tidak terkonsentrasi pada batas butir seperti pada daerah WM.

Foto mikro sample yang dilas dengan arus 110 A jarak kampuh las 4 mm dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Foto Mikrostruktur Sampel 110A - 4 mm

Foto Mikrostruktur memperlihatkan tiga daerah berbeda yaitu WM, HAZ dan BM. Terhadap masing-masing daerah dilakukan pengamatan lebih detail dengan perbesaran lebih tinggi seperti terlihat pada Gambar 4.7 (a), 4.7 (b) dan 4.7 (c). Pada daerah *Weld metal* diperoleh fasa ferit, demikian juga pada daerah pada daerah HAZ fasa yang diperoleh adalah bainit dan daerah BM terdapat fasa ferit.

4.4 Hasil Analisa Dan Pembahasan

Hasil pengamatan radiografi menunjukkan bahwa cacat terjadi baik pada jarak kampuh 3 mm dan 4 mm. Terlihat cacat las pada jarak kampuh las 4 mm dan 3 mm disebabkan oleh arus pengelasan naik turun pada trafo, dan travel speed

terlalu tinggi, dan faktor lain nya pada cacat las ialah adanya zat kotor pada benda kerja (karat), menyebabkan cacat las baik 4 mm dan 3 mm terlihat cacat pada sambungan las. Ada juga faktor penyebabnya pada cacat las ialah ketika temperatur cukup tinggi dimana atom-atom bergerak dengan frekuensi tertentu dan secara acak dapat meninggalkan kisi, lokasi pada kisi yang ditinggalkan disebut dengan kekosongan. Pada saat pengelasan berlangsung, meskipun baik 3 mm dan 4 mm kedua jarak sambungan las tersebut juga memiliki cacat yang sama yaitu cacat *porosity* terutama didaerah tengah lasan dan pinggiran las. Hal ini disebabkan dari teknik pengelasan nya tersebut dimulai dari samping menuju ketengah lasan pada momen ini bisa terjadi kekosongan pada saat sambungan las akan dimulai kembali dari tengah menuju pinggir lasan. Jadi jarak kampuh 4 mm kampuhnya lebih besar sehingga potensi terjadi nya kekosongan ditengah lasan lebih besar dibandingkan kampuh las 3 mm. Dikarenakan pada saat lasan dari samping kiri menuju tengah lasan, sambungan tersebut harus di gerinda dan dibersihkan oleh *welder* pengelas karna kalau tidak dibersihkan maka akan terjadi kekosongan pada saat sambungan akan terlihat pada saat pengecekan radiografi. Maka dari pada itu *welder* harus menggerinda sambungan las pada saat sambungan las berhenti, bertujuan pada saat sambungan akan dimulai kembali kekosongan pada area sambungan las tersebut bisa terisi kembali oleh lasan yang akan di lanjutkan kembali sampai ujung lasan tersebut. Pada analisa arus pengelasan pada sambungan las, untuk arus 110A jumlah cacat las nya cukup terlihat banyak dibandingkan pada arus 100A dan 90A. Cacat las pada arus 110A terlihat lebih banyak dibandingkan pada arus 90A dan 100A. Arus pengelasan yang semakin tinggi juga dapat menyebabkan terjadi cacat las jika tidak mengikuti standart pada proses pengelasan. Jadi jumlah cacat las pada arus yang semakin tinggi dikarenakan elektroda pada arus tinggi cepat mencair jadi pengelasan juga harus diimbangi oleh arus pengelasan, travel speed dan faktor pendukung lain nya.

Hasil pengamatan pada grafik *Yield Strength*, terlihat bahwa kekuatan luluh pada sambungan las dengan jarak kampuh 4 mm kekuatan luluh nya lebih rendah dibandingkan jarak kampuh 3 mm. Pada perbandingan kekuatan luluh pada

sambungan yang di las memiliki kekuatan luluh yang paling kecil yaitu pada arus 90A dengan jarak kampuh 4 mm menghasilkan kekuatan luluh yaitu 316,72 MPa. Sedangkan untuk kekuatan luluh pada arus 90A dengan pada jarak kampuh 3 mm menghasilkan kekuatan luluh yaitu 367,83 MPa. Dari analisa perbandingan Pada arus yang sama dan jarak kampuh yang berbeda, bisa diliat pada arus 90A dengan jarak kampuh 3 mm dan arus 90A dengan jarak kampuh 4 mm memiliki perbandingan yaitu pada jarak kampuh 3 mm adalah kekuatan luluh yang paling tinggi sedangkan pada jarak kampuh 4 mm memiliki kekuatan luluh yang paling rendah, dikarenakan kedua jarak kampuh pada saat dilakukan kekuatan luluh pada mesin uji tarik, pada sambungan las dengan jarak kampuh 3 mm dan 4 mm sama sama memiliki hasil patah pada logam induk.

Hasil pengamatan pengujian tarik pada grafik *Tensile Strength*, terlihat bahwa kekuatan tarik baja yang di las dengan jarak kampuh 4 mm semakin bertambah arus maka Kekuatan tarik nya semakin menurun. Sedangkan untuk jarak kampuh 3 mm semakin bertambah arus maka *Tensile Strength* nya akan meningkat. Pada analisa perbandingan *Tensile strength* pada arus 110A dengan jarak kampuh las 3 mm menghasilkan *Tensile Strength* yang tinggi yaitu 474.79 MPa, sedangkan pada arus 110A dengan jarak kampuh las 4 mm menghasilkan *Tensile Strength* yang rendah yaitu 434.30 MPa.

Hasil Pengamatan keuletan pada grafik *Elongation*, terlihat bahwa keuletan pada hasil sambungan las dengan jarak kampuh 4 mm semakin bertambah nya arus pada hasil sambungan maka pada keuletan nya semakin rendah. Sedangkan pada hasil sambungan las dengan jarak kampuh las 3 mm semakin bertambah nya arus maka hasil keultean nya meningkat. Pada hasil analisa dan perbandingan keuletan pada hasil sambungan las, pada arus 90A dengan jarak kampuh 4 mm memiliki keuletan yang tinggi yaitu 30%. Sedangkan pada arus 100A dan 110A dengan jarak kampuh 4 mm memiliki keuletan yang rendah yaitu 20.9%.

Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada hasil sambungan las dengan 3 sampel yaitu 90A-3 mm, 110A-3 mm dan 110A-4 mm. Pada foto struktur mikro dengan pembesaran lensa 50x. Sampel 1 menggunakan arus 90A-3 mm dengan metode

pengelasan SMAW, dengan didapatkan WM (*Weld Metal*), HAZ, BM (*Base Metal*) dengan Pembesaran Lensa 100x.

- a) Daerah logam las WM (*Weld Metal*) digunakan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit + Pearlite.
- b) Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit + Pearlite.
- c) Daerah BM (*Base Metal*) dig unakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit + Pearlite.

Hasil pengamatan struktur mikro sampel 110A-3 mm dengan pembesaran 50x. Sampel 2 menggunakan arus 110A jarak kampuh 3 mm metode Pengelasan SMAW. dengan didapatkan WM, HAZ, BM dengan pembesaran Lensa 100x.

- a) Daerah logam las WM (*Weld Metal*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit + Pearlite.
- b) Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit + Pearlite.
- c) Daerah BM (*Base Metal*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit + Pearlite

Hasil pemngamatan struktur mikro sampe 110A-4 mm dengan pembesaran 50x. Sampel 3 menggunakan arus 110A dengan jarak kampuh las 4 mm dengan metode pengelasan SMAW, dengan didapatkan WM, HAZ, BM dengan pembesaran lensa 100x.

- a) Daerah logam las WM (*Weld Metal*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Sementit.
- b) Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Bainit.
- c) Daerah BM (*Base Metal*) digunakan untuk melihat struktur mikro dengan pembesaran 100x dan didapatkan Fasa Ferit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dan pembahasan, terdapat kesimpulan mengenai analisa hasil sambungan las SMAW pada material baja ASTM A36 dengan variasi arus dan jarak kampuh las sebagai berikut:

1. Cacat las terbentuk pada semua variasi pengelasan baik arus 90A, 100 A maupun 100A pada jarak kampuh las 3 mm dan 4 mm. Namun demikian cacat las lebih banyak ditunjukan pada pengelasan dengan jarak kampuh las 4 mm.
2. Nilai *Yield Strength* tertinggi diperoleh pada arus 90A dengan jarak kampuh 3 mm dengan hasil 367,83 MPa. Nilai ini hanya sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai *Yield Strength* material yang dilas pada 110 A jarak kampuh las 3 mm yaitu 366,21 MPa. Sedangkan nilai terendah diperoleh arus 90A dengan jarak kampuh 4 mm dengan hasil 316,72 MPa.
3. Nilai *Tensile Strength* tertinggi diperoleh pada arus 110A dengan jarak kampuh 3 mm dengan nilai 474,79 Mpa diikuti dengan nilai *Tensile Strength* material yang dilas dengan arus 90 A jarak kampuh las 3mm yaitu 469,67 MPa. *Tensile Strength* terendah diperoleh pada arus 110A dengan jarak kampuh las 4 mm.
4. Nilai *Elongation* tertinggi diperoleh pada arus 90A dengan jarak kampuh las 4 mm dengan nilai 30%. Sedangkan untuk nilai *Elongation* terendah diperoleh pada arus 100A – 110A dengan jarak kampuh las 4 mm dengan nilai 20,9%.
5. Dari seluruh data hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sifat mekanis material (*yield strength dan tensile strength*) tertinggi diperlihatkan oleh material yang dilas pada arus 90 dan 110 A dengan

jarak kampuh las 3 mm. Hasil ini diperkuat dari pengamatan struktur mikro dimana fasa yang terbentuk pada kedua kondisi tersebut hampir sama yaitu ferit dan perlit.

5.2 Saran

Penelitian tentang topik ini masih terbuka untuk dilanjutkan. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan perlakuan panas sebagai satu upaya mengurangi cacat las yang terbentuk dan memperbaiki sifat mekanis sambungan las. Perlakuan panas yang dilakukan dapat dengan memvariasikan temperature, atau pemilihan media pendinginan.

DAFTAR PUSTAKA

- Trinova Budi Santoso, 2015. *Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las SMAW Dengan Elektroda E7016*
- Fenoria Putri, 1993. *Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Jarak Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik, Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda 6013.*
- Fenoria Putri, 2012 *Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Jarak Pengelasan Terhadap Nilai Kekerasan Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda 6013 Metode Anava*
- Rio Vilda, 2015. *Simulasi dan analisa pengaruh jarak gap pengelasan dengan penambahan build up pada kuat tarik, deformasi dan structure material*
- Abdul Hamid, 2016. *Analisa Arus Pengelasan SMAW Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan*
- Yassir Maulana, 2016. *Analisa Kekuatan Tarik Baja ST37 Pasca Pengelasan Dengan Variasi Media Pendingin Menggunakan SMAW*
- Sucipto Riady Limbong, 2016 . *Analisa ASTM A36 Akibat Pengaruh Suhu Dan Quencing Terhadap Nilai Ketangguhan.*
- Davin Ridho Kurniawan, 2017. *Analisa Hasil Pengelasan SMAW Dengan Arus 200A Pada Material Plate ST 37 Menggunakan Elektroda E7018 Yang Direndam Air Dengan Pengujian Radiografy Dan Makro Etsa*
- Gholizadeh, 2016. *A Review Of Non-Destructive Testing Methods of Composite Materials”*
- Sugiarto, 2012. *Analisis Cacat Las Hasil Kombinasi Filler Rod dan Elektroda Pada Sambungan Pipa Menggunakan Pengelasan Kombinasi GTAW dan SMAW*

GMAW Metode Temper Bead Welding Dengan Variasi Temperatur Interpass Pada Baja Karbon Sedang.

Dani Mega Sari. 2015. *Pengaruh Suhu PREHEATING Pada Hasil Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik STANLESS STEEL 304*

M.Zaenal Mawahib, 2017. *Pengujian Tarik Dan Impak Pada Pengelasan SMAW Dengan Mesin Genset Menggunakan Diaemter Elektroda Yang Berbeda.*

Sarjito Jokosisworo, 2017. *Pengujian Tarik Dan Impak Pada Pengelasan SMAW Dengan Mesin Genset Menggunakan Diaemter Elektroda Yang Berbeda.*

Ari Ardiansah.2019. *Studi Hasil Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) Pada material ST 41 Dengan Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro*

Anang Setiawan. 2006. *Analisa Ketangguhan Sruktur Mikro Dan Daerah Las Dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding (SAW) Pada Baja ST 490*

Sumiyanto.2017. *Pengaruh Media Pendingin TerhadapSifat Mekanik Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36*

Heri Wibowo. 2016. *Analisa Heat Input Pengelasan Terhadap Distorsi, Struktur Mikro Dan Kekuatan Mekanis Baja A36*

Siswanto. 2011. *Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik). Jakarta : P.T. Prestasi Pustakarya*

Dwiky Tiarawaty, 2017. *Pengaruh Variasi Lapisan Fluida Pada V Groove Baja ST 37 Terhadap Cacat Dan Lebar HAZ Hasil SMAW*