

**ANALISA PENGARUH TEGANGAN SISA PENGELASAN
TERHADAP KEKUATAN PELAT**

SKRIPSI

*Dijadikan untuk memenuhi salah satu syarat guna meraih gelar
Sarjana Teknik Kelautan pada Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar*



Nama: IRWANSYAH

NIM: D32113011

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2017**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Kampus Unhas Gowa Jln. Poros Malino Kabupaten Gowa
Telp.(0421) 585 637, Fax (0411) 585 637, E-mail : Kapal9uh@indosat.net.id

LEMBAR PENGESAHAN

Judul :

**ANALISA PENGARUH TEGANGAN SISA PENGLASAN
TERHADAP KEKUATAN PELAT**

Oleh :

IRWANSYAH
D321 13 011

Skripsi ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat guna mencapai gelar sarjana pada Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Gowa, Desember 2017

Menyetujui :

Pembimbing I

Pembimbing II

IR. JUSWAN, MT
NIP. 19621231 198903 1 031

MUH. ZUBAIR MUIS ALIE, ST., MT., PhD.
NIP. 19750608 200501 1 003

Mengetahui :

**Ketua Departemen
Teknik Kelautan**

DR. TAUFIQUR RACHMAN ST., MT.
NIP. 19690802 199702 1 001

ABSTRAK

IRWANSYAH, *Analisa Tegangan Sisa Pengelasan Terhadap Kekuatan Pelat*. Dibimbing Oleh (**Juswan dan Muh.Zubair Muis Alie**).

Penelitian ini bertujuan tegangan sisa adalah gaya elastis yang dapat mengubah jarak antar atom dalam bahan tanpa adanya beban dari luar. Tegangan sisa ditimbulkan karena adanya deformasi plastis yang tidak seragam dalam suatu bahan, antara lain akibat perlakuan panas yang tidak merata atau perbedaan laju pendinginan pada bahan yang mengalami proses pengelasan. Permasalahan utama proses pengelasan adalah terjadinya tegangan sisa, analisa pengaruh tegangan sisa ini dilakukan dengan eksperimen dan pemodelan pada pengelasan butt joint dengan memvariasikan waktu pengelasan pada pelat pada kondisi termal. Variasi waktunya yaitu 0,2 detik, 2,8 detik, 5 detik, 8 detik, 10 detik, 15 detik, 20 detik, 35 detik dan 50 detik di masing-masing load stepnya dengan tegangan sisa yang diperoleh adalah sebesar $220 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Dari hasil tersebut, perhitungan dapat digunakan untuk memprediksi tegangan sisa untuk model dan tebal pelat lainnya.

Kata Kunci: *Tegangan Sisa, Pengelasan, Butt Joint*

ABSTRACT

IRWANSYAH, Analysis Of Residual Welding Stress Against Plate Strength. Guided By (**Juswan and Muh.Zubair Muis Alie**).

This research aim residual stress is the elastic force which can change the distance between atoms in the material without any external load. The residual stress is caused by the non-uniform plastic deformation in a material, partly due to the uneven heat treatment or the difference in the cooling rate of the welded material. The main problem of the welding process is the occurrence of residual stress, this residual stress effect analysis is done by experiment and modeling on the butt joint welding by varying the weld time on the plate under thermal conditions. The time variations are 0.2 seconds, 2.8 seconds, 5 seconds, 8 seconds, 10 seconds, 15 seconds, 20 seconds, 35 seconds and 50 seconds in each load step with residual stress obtained is $220 \times 10^6 \text{ N / m}^2$. From these results, calculations can be used to predict residual stresses for models and other plate thickness.

Keywords: *Residual Stress, Welding, Butt Joint*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, banyak nikmat yang Allah berikan kepada kita tetapi sedikit sekali yang kita ingat. Segala puji hanya layak untuk Allah tuhan seru sekalian alam atas segala berkat, rahmat, taufik, serta hidayah-Nya yang tiada terkira besarnya,

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi guna meraih gelar sarjana pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu patut disyukuri dan mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Juswan MT selaku pembimbing pertama dan Bapak Muhammad Zubair Muis Alie ST.,MT.,PhD. selaku pembimbing kedua yang senantiasa membimbing serta memberikan kritikan dan saran sejak dimulainya pembuatan skripsi ini sampai selesai.

Tidak lupa juga terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung penulis hingga selesainya skripsi ini, karena itu di ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Drs. Alimuddin Gama Ibunda Amma. dan Adinda Syaiful dan Almanda yang telah memberi bantuan moril maupun materil selama ini.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Taufiqur Rachman ST, MT. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Eng Firman Husain ST, MT. selaku Sekretaris Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Daeng Paroka ST.,MT.,PhD, Dr. Taufiqur Rachman ST, MT., dan Dr. Eng Firman Husain ST, MT. selaku dosen penguji yang memberikan kritik membangun pada penelitian saya.
6. Segenap staf pengajar dan administrasi Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu kelancaran perkuliahan dan administrasi.
7. Kanda Samuel Izaak Latumahina ST,MT, terima kasih atas bantuan dan bimbingannya selama ini
8. Makan Bang Crew atas supportnya selama ini
9. Teman-teman Posko KKN Desa Bontomate'ne Kecamatan Sinoa Kabupaten Bantaeng Gelombang 95 Universitas Hasanuddin, terima kasih atas kebersamaannya selama di Posko KKN.

10. Teman-teman Teknik Kelautan 2013 serta adinda Teknik Kelautan khususnya, Mirna yang telah membantu secara disengaja maupun tidak disengaja.
11. Dan seluruh orang yang tak mungkin disebutkan satu-satu persatu, terima kasih atas seluruh bantuan moril maupun materil yang telah diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam laporan ini masih terdapat beberapa kekurangan yang semata-mata dikarenakan oleh keterbatasan sebagai insan biasa. Untuk itu, penulis akan senantiasa menerima kritikan dan saran-saran dari pembaca yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Harapan penulis kedepannya, kiranya skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya serta menjadi penambah cakrawala berfikir bagi orang yang membacanya.

Gowa, 12 November 2017

Irwansyah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2. Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3. Tujuan Penulis.....	Error! Bookmark not defined.
1.4. Manfaat Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.5. Sistematika Penulis.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pengelasan.....	5
2.1.1. Proses Pengelasan SMAW.....	8
2.1.2. Tipe Sambungan Las.....	12
2.1.2. <i>Groove Welding Joint</i>	15
2.1.3. Arus Pengelasan.....	16

2.1.4. <i>Heat Input</i>	19
2.1.5. <i>Heat Affected Zone</i>	21
2.2. Material ASTM 36	25
2.2.1. <i>Material Properties</i>	26
2.2.2. <i>Chemical Composition</i>	27
2.3. Tegangan Sisa Pengelasan	27
2.3.1 Teori Dasar	27
2.3.2. Analisa FEM.....	29
2.3.3. <i>Transient Analysis</i>	32
2.3.4. <i>Structure Analysis</i>	33
BAB 3. METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian....	Error! Bookmark not defined.
3.1.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.1.2. Waktu Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2. Penyajian Data Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.4. Metode dan Analisa Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.1. Metode	Error! Bookmark not defined.
3.4.2. Analisa Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.5. Alur Penelitian.....	43
BAB 4. PEMBAHASAN	44

4.1. Kondisi Syarat Batas dan Pembebanan	44
4.1.1. Kondisi Syarat Batas	Error! Bookmark not defined.
4.1.2. Pembebanan	Error! Bookmark not defined.
4.2. Hasil dan Analisa Tegangan Sisa	45
4.2.1. Hasil Pemodelan Pengelasan Butt joint.	46
4.2.2. Hasil Pemodelan Tegangan Sisa pengelasan.....	52
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	54
DAFTAR PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Lima jenis sambungan yang biasa digunakan dalam proses pengelasan	12
Gambar 2.2 Kampuh V.....	15
Gambar 2.3 Arah Pembekuan dari logam las	22
Gambar 2.4 Struktur Mikro	24
Gambar 2.5 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan	24
Gambar 2.6 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair	25
Gambar 2.7 Elemen lentur pada balok sederhana.....	34
Gambar 3.1 <i>Window</i> Pemilihan Jenis Analisis	38
Gambar 3.2 <i>Window</i> Pemberian <i>Element Material</i>	39
Gambar 3.3 <i>Window</i> Pemberian <i>Properties Material</i>	40
Gambar 3.4 <i>Window</i> Pemberian nomor dan koordinat <i>keypoint</i>	40
Gambar 3.5 <i>Window</i> Penggambaran <i>Keypoint</i>	41
Gambar 3.6 langkah proses <i>meshing</i>	42
Gambar 3.7 <i>Frame</i> yang telah ter- <i>meshing</i> (Hasil Olahan, 2017).....	42
Gambar 4.1 plot kontur 3D distribusi suhu pada 0,2 detik & 2,8 detik (Hasil Olahan, 2017).....	46
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 0,2 detik & 2,8 detik (Hasil Olahan, 2017)	47
Gambar 4.3 plot kontur 3D distribusi suhu pada 5 detik & 8 detik (Hasil Olahan, 2017).....	47
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 5 detik & 8 detik (Hasil Olahan, 2017)	48
Gambar 4.5 plot kontur 3D distribusi suhu pada 10 detik & 15 detik (Hasil Olahan, 2017).....	49
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 10 detik & 15 detik(Hasil Olahan, 2017)	50
Gambar 4.7 plot kontur 3D distribusi suhu pada 20,35 & 50 detik (Hasil Olahan, 2017).....	50
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 20	

,35 & 50 detik (Hasil Olahan, 2017).....	51
Gambar 4.9 Tegangan Total (<i>von misses stress</i>) (Hasil Olahan, 2017)	53
Gambar 4.10 Grafik hasil tegangan sisa (Hasil Olahan, 2017)	53

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Macam-macam jenis selaput (<i>fluks</i>).....	12
Tabel 2.2 Efisiensi proses pengelasan	21
Tabel 2.3 <i>Material properties</i> (ASTM 36)	26

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
	Efisiensi proses pengelasan	
E	Tegangan pengelasan	N/m^2
I	Arus pengelasan	A
V	Kecepatan pengelasan	m/s
x	Tegangan tegak lurus garis las	N/m^2
y	Tegangan searah garis las	N/m^2
ϵ_x	Regangan tegak lurus garis las	
ϵ_y	Regangan searah garis las	
ν	Angka Perbandingan poisson	
	Beban dibagi luas penampang	N/m^2
E	Modulus elastisitas	N/m^2
L_0	Panjang mula-mula	m
Δl	Perubahan panjang	m
Δt	Perubahan temperatur	K
α	Koefisien Muai panjang	K-1

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/Singkatan	Arti/Keterangan
HI	<i>Heat Input</i>
HAZ	<i>Heat Affected Zone</i>
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
FCAW	<i>Flux Cored Arc Welding</i>
SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan 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 ketrampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) (Wiryosumarto, 2000).

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi. Dalam proses pengelasan bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata, karena panas tersebut maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit. Jika tidak dihindari, peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan adanya perubahan besaran mekanik, disamping terjadi perubahan bentuk yang menyebabkan terjadi regangan dan tegangan yang sifatnya tetap tersebut disebut tegangan sisa.

Tegangan sisa timbul karena adanya perbedaan temperatur yang besar sedangkan distorsi terjadi jika logam las dibiarkan bergerak leluasa selama proses pendinginan. Tegangan sisa yang terjadi pada kampuh las ini dapat menyebabkan kegagalan (*fatigue*) yang mana dapat mengurangi kekuatan dari struktur dan komponen. Oleh karena itu tegangan sisa dalam pengelasan harus dikurangi sampai sekecil mungkin untuk mencegah kegagalan desain suatu komponen. Dengan mengerti mekanisme terjadinya

tegangan sisa dapat dipelajari untuk mengambil langkah-langkah meminimalisasikan tegangan sisa yang terjadi pada saat pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah Penelitian ini adalah bagaimana pengaruh tegangan sisa pengelasan terhadap kekuatan pelat menggunakan metode elemen hingga. Pengamatan dilakukan melihat besarnya tegangan sisa pada saat pengelasan dan dianalisa menggunakan software ANSYS.

1.3 Tujuan Penulis

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh tegangan sisa pengelasan terhadap kekuatan pelat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah Mengetahui hasil dari grafik tegangan sisa pengelasan terhadap kekuatan pelat dan untuk penerapannya terhadap bangunan lepas pantai.

1.4 Sistematika Penulis

Sistematika dalam penulisan skripsi ini terbagi dalam lima bab dengan harapan maksud dan tujuan dari penulisan ini dapat terangkum secara keseluruhan. Pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan gambaran awal yang menguraikan tentang informasi secara menyeluruh dari penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan secara singkat tentang teori-teori dasar mengenai analisa tegangan sisa pengelasan terhadap kekuatan pelat.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data dan tahapan-tahapan penelitian.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengamatan, analisa dan pembahasan dari pengolahan data yang diperoleh dengan menggunakan teori-teori yang telah dijelaskan sebelumnya sehingga nanti dapat diharapkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil yang telah dilakukan serta saran-saran yang diharapkan mampu menjadi masukan untuk penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKAN

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinue. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran dan sebagainya. Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran. Membuat lapisan las pada perkakas mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam –macam reparasi lainnya (Muhadhi., 2009).

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaan disekitarnya. Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya didalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu didalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi

praktek, secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara-cara pengelasan. Cara ini pemeriksaan, bahan las, dan jenis las yang akan digunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (filler metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang

utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan.

Sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena perlu adanya kesepakatan dalam hal-hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasi tersebut pada waktu ini dapat dibagi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.

Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lainnya. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Bila diadakan pengklasifikasian yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi tersebut diatas dibaur dan akan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak sekali. Diantara kedua cara klasifikasi tersebut diatas kelihatannya klasifikasi cara kerja lebih banyak digunakan karena itu pengklasifikasian yang diterangkan dalam bab ini juga berdasarkan cara kerja.

Berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu :

a) Pengelasan cair

Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur

listrik atau sumber api gas yang terbakar.

b) Pengelasan tekan

Pengelasan tekan adalah pcara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

c) Pematrian

Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan denngan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak turut mencair.

2.1.1 Proses Pengelasan SMAW

Proses pengelasan SMAW yang umummnya disebut Las Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Panas tersebut ditimbulkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Panas yang timbul dari lompatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000° sampai 4500° Celcius. Sumber tegangan yang digunakan ada dua macam yaitu listrik AC (Arus bolak balik) dan listrik DC (Arus searah). Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektrode sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas. Panas akan mencairkan elektrode dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar

akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan tukang las harus menjaga jarak ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama. Adapun jarak yang paling baik adalah sama dengan diameter elektroda yang dipakai. Karakter Mesin Persyaratan dari proses SMAW adalah persediaan yang kontinyu pada arus listrik dengan jumlah *ampere* dan *voltage* yang cukup baik sehingga kesetabilan api las akan tetap terjaga.

Dalam proses pengelasan SMAW tenaga listrik yang di peroleh dari mesin menurut jenis arus yang dikeluarkan terbagi menjadi 3 jenis mesin:

1. Mesin dengan arus searah (DC)
2. Mesin dengan arus bolak balik (AC)
3. Mesin dengan kombinasi arus searah (DC) dan arus bolak balik (AC)

Pada mesin arus (DC) dilengkapi dengan komponen yang merubah sifat arus bolak balik (AC) menjadi arus searah yaitu dengan generator listrik. Mesin arus bolak balik tidak perlu dilengkapi dengan generator tetapi cukup dengan transformator. Karakteristik electric effeciensinya 80-85%. Pada mesin kombinasi antara AC dan DC dilengkapi dengan transformator dan rectifier, diman rectifier ini mempunyai fungsi untuk meratakan arus.

Perlengkapan yang diperlukan untuk proses pengelasan SMAW adalah peralatan yang paling sederhana dibandingkan dengan proses pengelasan listrik yang lainnya. Adapun perlengkapan las SMAW adalah : transformator DC/AC, elektroda, kabel massa, kabel elektroda, *connectors*, palu cipping, sikat kawat dan alat perlindungan diri yang sesuai.

1. Sumber Tegangan (*power source*)

Sumber tegangan diklasifikasikan sebagai mesin las AC dan mesin las DC, mesin las AC biasanya berupa trafo las, sedangkan mesin las DC selain trafo juga ada yang dilengkapi dengan rectifier atau diode (perubah arus bolak balik menjadi arus searah) biasanya menggunakan motor penggerak baik mesin diesel, motor bensin dan motor listrik. mesin las DC, saat ini banyak digunakan mesin las DC karena DC mempunyai beberapa kelebihan dari pada mesin las AC yaitu busur stabil dan polaritas dapat diatur. mesin las AC yang menggunakan transformator atau trafo las.

2. Kabel masa dan kabel elektoda (*ground cable and electrode cable*)

Kabel masa dan kabel elektroda berfungsi menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel masa dan kabel elektroda ini harus cukup besar untuk mengalirkan arus listrik, apabila kurang besar akan menimbulkan panas pada kabel dan merusak isolasi kabel yang akhirnya membahayakan pengelasan.

3. Pemegang elektroda dan klem masa (*holder and claim masa*)

Pemegang elektrode berguna untuk mengalirkan arus listrik dari kabel elektrode ke elektrode serta sebagai pegangan elektrode sehingga pengelas tidak merasa panas pada saat mengelas. Klem masa berguna untuk menghubungkan kabel masa dari mesin las dengan material biasanya klem masa mempunyai per untuk penjepitnya. Klem ini sangat penting

karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil sehingga pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.

4. Palu las dan sikat kawat (*chipping hammer and wire brush*)

Palu las digunakan untuk melepaskan dan mengeluarkan kerak las pada logam las (*weld metal*) dengan jalan memukulkan atau menggoreskan pada daerah las an. Berhati-hatilah membersihkan kerak las dengan palu las karena kemungkinan akan memercik ke mata atau ke bagian badan lainnya. Jangan membersihkan kerak las sewaktu kerak las masih panas/merah. Sikat kawat dipergunakan untuk membersihkan benda kerja yang akan dilas, dan membersihkan terak las yang sudah lepas dari jalur las oleh pukulan palu las.

5. Elektroda

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

Tabel 2.1 Macam-macam jenis selaput (*fluks*)

Angka Keempat	Jenis Selaput (<i>Fluks</i>)	Arus Pengelasan
0	Natrium selulosa, Oksida besi tinggi	DC+
1	Kalium – Selulosa tinggi	AC,DC+
2	Natrium – Titania tinggi	AC,DC-
3	Kalium – Titania tinggi	AC,DC+
4	Serbuk besi, Titania	AC,DC±
5	Natrium – Hydrogen rendah	DC+
6	Kalium – Hydrogen rendah	AC,DC+
7	Serbuk besi, Oksida besi	AC,DC+
8	Serbuk besi, Hydrogen rendah	AC,DC+

2.1.2 Tipe Sambungan Las

1. Sambungan Las

Sambungan las adalah pertemuan dua tepi atau permukaan benda yang disambung dengan proses pengelasan.

2. Jenis sambungan

Terdapat lima jenis sambungan yang biasa digunakan untuk menyatukan dua bagian benda logam, seperti dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Lima jenis sambungan yang biasa digunakan dalam proses pengelasan

a) Sambungan tumpul (*butt joint*)

Kedua bagian benda yang akan disambung diletakkan pada bidang datar yang sama dan disambung pada kedua ujungnya. Sambungan sebidang dipakai terutama untuk menyambung ujung-ujung plat datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama. Keuntungan utama jenis sambungan ini ialah menghilangkan eksentrisitas yang timbul pada sambungan lewatan tunggal. Bila digunakan bersama dengan las tumpul penetrasi sempurna (*full penetration groove weld*), sambungan sebidang menghasilkan ukuran sambungan minimum dan biasanya lebih estetik dari pada sambungan bersusun. Kerugian utamanya ialah ujung yang akan disambung biasanya harus disiapkan secara khusus (diratakan atau dimiringkan) dan dipertemukan secara hati-hati sebelum dilas. Hanya sedikit penyesuaian dapat dilakukan, dan potongan yang akan disambung harus diperinci dan dibuat secara teliti. Akibatnya, kebanyakan sambungan sebidang dibuat di bengkel yang dapat mengontrol proses pengelasan dengan akurat.

b) Sambungan tumpang (*lap joint*)

Merupakan sambungan las yang dibentuk bila dua anggota sambungan diposisikan saling menumpuk satu sama lain. Sambungan ini lebih kuat dibandingkan dengan sambungan tumpul, tetapi mengakibatkan terjadinya penambahan berat. Umumnya digunakan selama proses perbaikan dan untuk menambah panjang material standar ke panjang yang diperlukan. Sambungan tumpang merupakan jenis yang paling umum.

c) Sambungan T (*tee joint*)

Jenis sambungan ini dipakai untuk membuat penampang bentukan (*built-up*) seperti profil T, profil 1, gelagar plat (*plat girder*), pengaku tumpuan atau penguat samping (*bearing stiffener*), penggantung, konsol (*bracket*). Umumnya potongan yang disambung membentuk sudut tegak lurus. Jenis sambungan ini terutama bermanfaat dalam pembuatan penampang yang dibentuk dari plat datar yang disambung dengan las sudut maupun las tumpul.

Jenis sambungan ini juga merupakan sambungan las yang dibentuk bila dua anggota sambungan diposisikan kurang lebih 90° satu sama lain dalam bentuk T. jika dimungkinkan, dilas pada kedua sisinya untuk mendapatkan kekuatan maksimum. Umumnya digunakan dalam fabrikasi struktur penopang dimana beban ditransfer ke bidang yang berbeda pada kurang lebih 90° .

d) Sambungan sudut (*corner joint*)

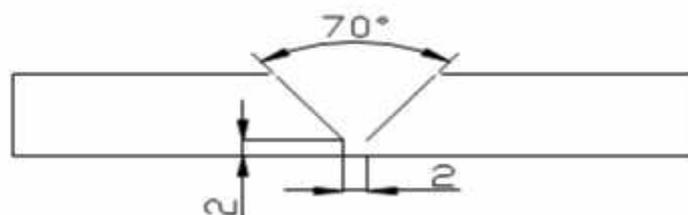
Sambungan sudut dipakai terutama untuk membuat penampang berbentuk boks segi empat seperti yang digunakan untuk kolom dan balok yang memikul momen puntir yang besar. Merupakan sambungan las yang dibentuk bila dua anggota sambungan diposisikan membentuk sudut $> 90^\circ$ dengan sambungan las pada bagian luar anggota sambungan. Umumnya digunakan pada konstruksi bejana tekan tangki. Logam pengisi dapat dibutuhkan dan dapat pula tidak tergantung pada desain dan fungsi sambungan.

e) Sambungan tekuk (*edge joint*)

Sisi-sisi yang ditebuk dari ke dua bagian yang akan disambung sejajar, dan sambungan dibuat pada kedua ujung bagian tekukan yang sejajar tersebut. Sambungan tekuk umumnya tidak struktural tetapi paling sering dipakai untuk menjaga agar dua atau lebih plat tetap pada bidang tertentu atau untuk mempertahankan kesejajaran (*alignment*) awal. Merupakan sambungan las yang dibentuk bila sisi dua anggota sambungan akan disambung. Sisi yang dilas selalu dalam bentuk sejajar satu sama lain. Jenis pengelasan ini sering dipakai dalam menyambung struktur penopang dan struktur baja yang pendek.

2.1.3 Groove Welding Joint

Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara 60-80, jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm. (Sonawan, 2004).



Gambar 2.2 Kampuh V (Sonawan, 2004)

2.1.4 Arus Pengelasan

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatannya.

Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

cara mengatur arus dengan cara memutar handel pada mesin las. besarnya arus yang dipilih dapat dibaca pada skala arus yang terdapat pada pesawat las.

pengaruh besar arus terlalu besar, maka elektroda akan mencair terlalu cepat, akibatnya :

1. permukaan las akan lebih besar
2. penembusan yang dalam

3. akan terjadi *under cut*

pengaruh besar arus terlalu kecil, maka akan menyebabkan busur listrik sukar untuk menyala, sehingga busur listrik yang terjadi tidak stabil. panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar, akibatnya :

1. rigi-rigi lasnya kecil dan tidak rata
2. penembusannya dangkal

cara menyalakan busur untuk menyalakan busur harus liat dulu jenis pesawat las yang digunakan.

A. pesawat las AC

dengan cara menggoreskan ujung elektroda pada permukaan benda kerja yang akan dilas. seperti menyalakan batang korek, bila busur sudah jadi, pertahankan nyala tersebut untuk pengelasan.

B. pesawat las DC

dengan cara menyentuhkan ujung elektroda pada permukaan benda kerja secara tegak lurus. bila sudah menyala angkat setinggi elektroda (diameter elektroda/lingkaran). bila pengelasan belum selesai, sementara elektroda sudah habis, maka elektroda harus diganti dan busur dinyalakan lagi dengan cara sebagai berikut :

- a) jalur las harus dibersihkan dari terak las
- b) nyala busur las +10mm dari jalur las tadi
- c) setelah busur las terjadi cepat-cepatlah busur las di tarik kebelakang di tempat busur las terhenti
- d) lanjutkan pengelasan sampai panjang yang di tentukan

1. pengaruh panjang busur

panjang busur juga akan mempengaruhi hasil pengelasan :

A. bila panjang busur tepat $L=D$, maka cairan elektroda akan mengalir dan mengendap dengan baik. sehingga akan menghasilkan rigi-rigi las yang halus dan baik, serta percikan teraknya halus.

B. bila busur terlalu panjang $L>D$, maka cairan elektroda akan mengalir dan menyebar. sehingga akan menghasilkan rigi-rigi las yang kasar, tembusannya dangkal dan percikan teraknya kasar serta keluar dari jalur las.

C. bila busur terlalu pendek $L<D$, busur yang terjadi sukar dipelihara sehingga sering terjadi pembekuan pada ujung elektroda yang mengakibatkan rigi-rigi las tidak rata, tembusan las tidak baik dan percikan teraknya kasar serta berbentuk bola.

2. gerakan dan pengaruh kecepatan elektroda pada hasil las

A. gerakan elektroda

pada waktu mengelas elektroda harus digerakkan agar memperoleh dampak yang diinginkan, gerakan elektroda itu diantaranya adalah :

1. gerakan arah turun sepanjang sumbu elektroda, gerakan ini dilakukan untuk mengatur jarak busur listrik agar tetap.
2. gerakan ayunan elektroda, gerakan ini fungsinya untuk mengatur lebar jalur las yang dikehendaki.
3. gerakan ayunan segitiga/zigzag, gerakan ini fungsinya untuk mendapatkan penembusan yang baik diantara dua celah plat.

B. pengaruh kecepatan elektroda pada hasil las

kecepatan tangan menarik atau mendorong elektroda pada waktu mengelas harus stabil, sehingga akan memperoleh rigi-rigi las yang rata dan halus dengan penembusan yang baik jika elektroda digerakkan terlalu cepat, maka pemanasan bahan dasar kurang, sehingga akan diperoleh rigi-rigi las yang kecil dengan penembusan dangkal. jika elektroda digerakkan terlalu lambat, maka akan diperoleh rigi-rigi las yang lebar dan kuat dengan penembusan yang dalam. bahkan kadang-kadang menimbulkan kerusakan pada sisi las atau yang sering disebut under cut.

2.1.5 Heat Input

Heat input (Masukan panas) adalah besarnya energi panas tiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak).

Fungsi utama sumber panas pada las cair (*fusion welding*) adalah untuk mencairkan logam. Selanjutnya logam cair mempunyai dua fungsi, yaitu: (1) sebagai bahan pengisi (*filler*) pada bagian yang disambung sehingga terbentuk bahan yang *kontinyu* dan (2) membersihkan permukaan sambungan melalui reaksi kimia.

Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena

proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. 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:

$$HI(HeatInput) = \frac{\text{Tegangan pengelasan (E)} \times \text{Arus pengelasan (I)} \times \text{Kecepatan pengelasan (v)}}{\dots\dots} \quad (2-1)$$

Dari persamaan itu 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.

Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan (η) sehingga persamaannya menjadi:

$$HI(HeatInput) = \eta \times \frac{\text{Tegangan pengelasan (E)} \times \text{Arus pengelasan (I)} \times \text{Kecepatan pengelasan (v)}}{\dots\dots} \quad (2-2)$$

Efisiensi masing-masing proses pengelasan dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Efisiensi proses pengelasan (Malau, 2003)

Proses pengelasan	Efisiensi (%)
SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>)	95
GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	90
FCAW (<i>Flux Cored Arc Welding</i>)	90
SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	90
GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)	70

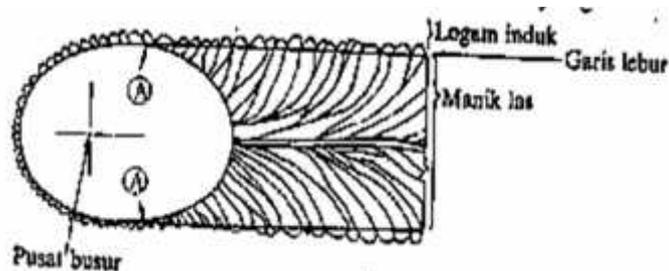
2.1.6 *Heat Affected Zone*

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

a. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las

dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las.



Gambar 2.3 Arah pembekuan dari logam las (Wirjosumarto, 2000)

Dari Gambar 2.3 diatas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit Widmanstatten. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

a) Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit

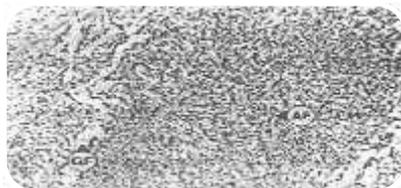
biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000-6500C.

b) *Ferit Widmanstatten* atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750-6500C di sepanjang batas butir *austenit*, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.

c) *Ferit acicular*, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya *ferit acicular* ini terbentuk sekitar suhu 6500C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.

d) *Bainit*, merupakan *ferit* yang tumbuh dari batas butir *austenit* dan terbentuk pada suhu 400-5000C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding *martensit*.

e) *Martensit* akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



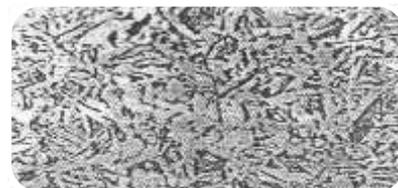
(a). Struktur mikro *acicular ferrite* (AF) dan *grain boundary ferrite* (GF) atau ferit batas butir (Sonawan, 2004)



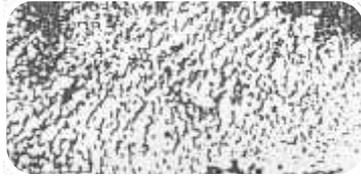
(b). Struktur mikro ferit *Widmanstatten* (ASM, 1989)



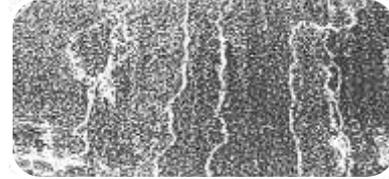
(c). Struktur mikro *martensit* (Sonawan, 2004).



(d). Struktur mikro ferit dan perlit (Sonawan, 2004)



(e). Struktur mikro bainit (ASM, 1989)

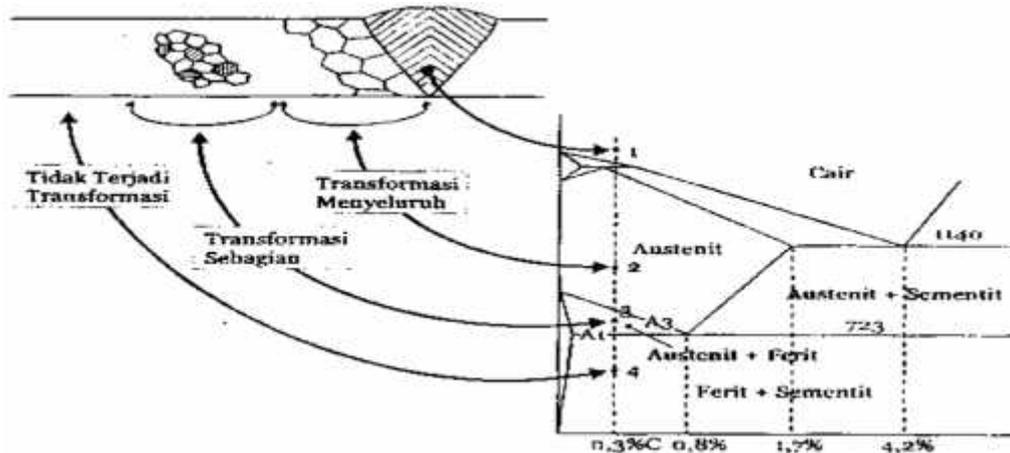


(f). Struktur mikro daerah columnar (ASM, 1989)

Gambar 2.4 Struktur Mikro

b) Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ)

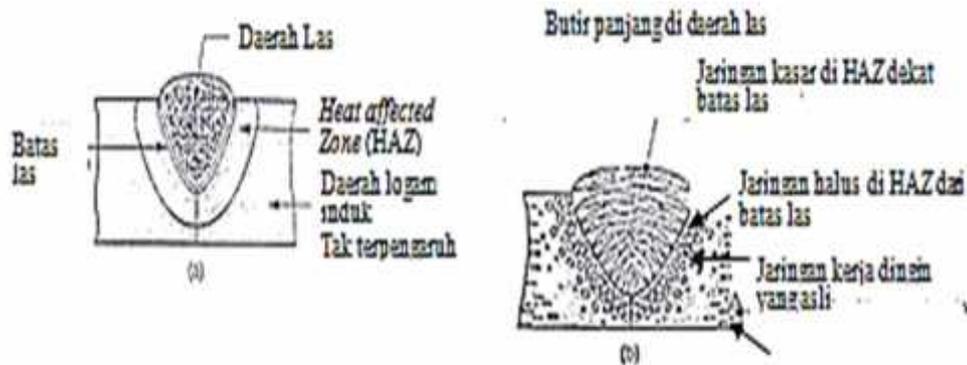
Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi *austenite* 100%.



Gambar 2.5 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan (Sonawan, 2004)

c) Logam induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2.6 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair
(Malau, 2003)

2.2 Material ASTM 36

Plat kapal *mild steel* A36, yang juga dikenal sebagai SS400 JIS 3101, di ASME Kode Bagian II-A spesifikasi *JIS* dari pelat baja untuk konstruksi umum termasuk dalam kategori SA-36. Di *JIS* (Standar Industri Jepang) “SS” singkatan dari baja struktural (*structural steel*) dan grade 400 yang mirip dengan AISI 1018. Plat kapal mild steel A-36 adalah salah satu baja canai panas struktural yang paling umum digunakan. Tipikal material baja karbon khas, harganya relatif murah, sangat bagus di las dan di machining dan material baja SS400 dapat mengalami berbagai perlakuan panas. Baja SS400 pelat umumnya disebut dengan plat *mild steel* (MS). Untuk plat ukuran 5 x 20 kaki (*feet*) sering juga disebut dengan pelat kapal, karena

banyak digunakan untuk industri perkapalan

2.2.1 *Material Properties*

Berhasil atau gagalnya pengelasan pada suatu logam tergantung pada sifat mampu las pada logam tersebut. Logam yang mempunyai sifat mampu las yang baik didalam melakukan proses pengelasan lebih mudah dan menghasilkan hasil lasan yang baik. Sebaliknya pada logam yang mempunyai sifat mampu las yang rendah prosedur pengelasannya lebih sulit dan menghasilkan hasil lasan yang kurang baik. Kenyataanya di dalam suatu konstruksi sambungan hanya beberapa logam yang biasa dilakukan pekerjaan las karena pada logam –logam tersebut bisa mampu diupayakan untuk proses las yang menghasilkan sambungan yang baik. Logam-logam tersebut antara lain: Logam ferro seperti besi, baja serta logam-logam non ferros seperti Alumilium, magnesium, tembaga, titanium dan paduan dari logam-logam tersebut. Material properties dari material pelat baja ASTM 36 dapat dilihat pada table 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3. *Material properties (ASTM 36)*

<i>Density</i>	<i>Poisson's ratio</i>	<i>Young's Modulus</i>	<i>Yield Strength</i>
7820	0.28	2.05E11	220e6
7700	0.29	1.87E11	175e6
7610	0.31	1.5E11	80e6
7550	0.35	0.7E11	40E6
7490	0.4	0.2E11	10E6
7350	0.45	0.19E2	1E-5
7300	0.48	0.18E2	
7090	0.5	0.12e2	

2.2.2 Chemical composition

Sesuai JIS G 3101

1. *Karbon (C)*
2. Kandungan Silikon (Si) dan *Mangan (Mn)* tidak terkontrol.
3. *Fosfor (P)* 0,05% Max dan *Sulfur (S)* 0,05% Max harus dikendalikan di bawah tingkat ini.

2.3 Tegangan Sisa Pengelasan

Tegangan sisa adalah gaya elastis yang dapat mengubah jarak antar atom dalam bahan tanpa adanya beban dari luar. Tegangan sisa ditimbulkan karena adanya deformasi plastis yang tidak seragam dalam suatu bahan, antara lain akibat perlakuan panas yang tidak merata atau perbedaan laju pendinginan pada bahan yang mengalami proses pengelasan. Walaupun tegangan sisa secara visual tidak nampak, namun sesungguhnya tegangan sisa tersebut juga bertindak sebagai beban yang tetap yang akan menambah nilai beban kerja yang diberikan dari luar (Dai H, Keavey MA, Withers PJ).

2.3.1 Teori Dasar

Tegangan sisa adalah tegangan yang bekerja pada bahan setelah semua gaya-gaya luar yang bekerja pada bahan tersebut dihilangkan.

Penyebab terjadinya tegangan sisa:

1. Tegangan sisa sebagai akibat dari tegangan *thermal* seperti pada pengelasan dan perlakuan panas
2. Tegangan sisa yang disebabkan karena transformasi fasa (seperti baja karbon)

3. Tegangan sisa karena deformasi plastis yang tidak merata yang disebabkan gaya-gaya mekanis seperti pada pengerjaan dingin selama pengerolan, penempaan, pembentukan logam atau pekerjaan lain yang dilakukan dengan mesin

Sifat-sifat tegangan sisa :

1. Tegangan sisa sangat tinggi biasanya terjadi di daerah las dan daerah HAZ
2. Tegangan sisa maksimum biasanya sampai tegangan luluh (*yield stress*)
3. Pada bahan yang mengalami transformasi fasa misalkan baja karbon rendah, tegangan sisa mungkin bervariasi pada permukaan dan bagian dalam dari logam induk.

Pengaruh tegangan sisa :

1. Tegangan sisa yang disebabkan oleh proses pengelasan dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanis struktur las seperti patah getas, kelelahan, dan retak karena kombinasi tegangan dan korosi
2. Pengaruh tegangan sisa menurun jika tegangan yang bekerja pada bahan meningkat.
3. Pengaruh tegangan sisa pada struktur las bias diabaikan jika tegangan yang bekerja pada struktur tersebut melebihi tegangan luluhnya
4. Pengaruh tegangan sisa menurun setelah pembenan berulang.

Tegangan sisa dapat dihitung melalui besarnya regangan sisa yang terjadi dengan menggunakan hukum *Hooke*. Sedangkan besarnya regangan sisa dapat diukur dari perubahan ukuran antara batang sebelum dipotong, yaitu ukuran yang digambarkan pada bagian yang akan

ditentukan tegangan sisanya dan ukuran sebenarnya yang didapat setelah bagian yang akan diuji dipotong. Dari hukum *Hooke* jelas bahwa perubahan ukuran ini disebabkan oleh adanya tegangan, karena itu besarnya tegangan dapat dihitung.

Dalam hal terjadi tegangan sisa dengan dua dimensi dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan (2.3) dan (2.4).

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) \dots\dots\dots(2.4)$$

Tegangan sisa karena pengaruh pemanasan dapat dihitung dengan menggunakan hubungan antara tegangan regangan yang disebabkan oleh panas :

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta t \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\sigma = \alpha \Delta t E \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- σ = Tegangan sisa (Pa)
- E = *Modulus elastisitas* (Pa)
- L₀ = Panjang mula – mula (m)
- Δl = Perubahan panjang (m)
- Δt = Perubahan temperatur (K)
- α = Koefisien muai panjang (K-1)

2.3.2 Analisa FEM

Finite element method (metode elemen hingga) atau FEM adalah salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai di dunia engineering

(sipil, mesin, penerbangan, mikroelektronik, *bioengineering*, material) dan diajarkan di dunia (baik akademika maupun industri). Usianya lebih dari 40 tahun, dan hingga kini masih tetap dipakai, bahkan makin disukai. Metode ini berusaha memecahkan *partial differential equations* dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda kontinu. Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*) dan perpindahan panas (*heat transfer*). Biasanya matematikawan mencari *closed-form solution* untuk suatu kasus fisika, dan karena mentok mereka lalu memanfaatkan metode numerik ini untuk memecahkan kasusnya (Bhafikatti, SS. 2005).

Saat ini, banyak sekali software FEM berkeliaran dengan berbagai mutu dan kemudahan. Software ini biasanya sangat ramah-sama-pengguna (*user-friendly*) tapi tidak *dompet-friendly* (mahal). Contoh dari software ini adalah MSC.NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, LSDYNA, dan lainnya. Pengguna software FEM kemudian terbiasa melihat GUI (*graphic user interface*) di mana suatu benda didiskritisasi menjadi sekian puluh bahkan ribu elemen. Istilah baru kemudian muncul yaitu *Finite Element Modeling*, karena pengguna hanya memodelkan fisik suatu benda dengan elemen-elemen kecil, mendefinisikan sifat-sifat material, memberikan kondisi batas dan pembebanan, menjalankan software. Ini yg dinamakan *pre-processing*. Fase *post-processing* biasanya lebih sulit karena pengguna diharapkan bisa menginterpretasi hasil, menganalisis angka dan fisik yang dihasilkan dan melakukan *trouble-shooting* jika

hasilnya kurang memuaskan. Ada yg bilang FEM software ini G-I-G-O alias *garbage-in-garbage-out*. Dan ini benar, Apa saja yg kita masukkan ke dalam software tentu akan menghasilkan sesuatu, entah itu berupa angka atau berupa error message. Kalau memasukan sampah ya keluaranya juga sampah (begitu arti literalnya). Untuk mengatasi ini, pengguna diharapkan sudah memahami formulasi, jenis elemen, kelebihan dan kelemahan suatu metode sebelum menggunakan FEM *software* (Hutton F, David).

Finite Element Analysis dibangun sebagai metode numeric untuk analisa tegangan, tapi sekarang pemakainanya telah meluas sebagai metode yang umum untuk banyak permasalahan engineering kompleks dan ilmu-ilmu fisika. Mengandung banyak perhitungan, pertumbuhannya berhubungan dekat dengan pengembangan teknologi komputer.

Finite Element adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lain yang adalah metode analitik, yang untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constrain*, sifat material, dll) maka semakin sulit atau bahkan mustahil di bangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan.

Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum), (Klaus Jurgen Bathe).

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*, FEM) adalah suatu metode numerik dengan tujuan memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*, PDE). Meskipun cikal bakal teori FEM sudah ada sejak tahun 1940-an, baru pada tahun 1970-an metode ini dirumuskan secara formal. Pada awalnya metode ini digunakan dibidang teknik penerbangan untuk perhitungan kekuatan bangun-raga (*structure*) pesawat pada industri pesawat terbang. Tetapi dewasa ini FEM telah diterapkan dalam berbagai persoalan teknik: seperti struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, akustik, maupun elektromagnetik.

Finite Element Method (FEM) atau Metode Elemen Hingga dewasa ini telah menjadi bagian tak terpisahkan dari solusi numerik di dunia teknik rekayasa. FEM diaplikasikan secara luas mulai dari analisa *stress* (tegangan) dan deformasi (perubahan bentuk) pada bidang struktur bangunan, jembatan, penerbangan, dan otomotif, sampai pada analisa aliran fluida, perpindahan panas, medan magnet, dan masalah non-struktur lainnya.

2.3.3 Transient Analysis

Analisa transien adalah analisa yang berhubungan dengan perubahan beban berdasarkan fungsi waktu dan posisi yang dapat

menghasilkan stress transient benda tertentu.

Respon waktu sistem kendali terdiri dari respon "*transien*" dan "*steady state*". Respon transien adalah respon sistem yang berlangsung dari keadaan awal sampai dengan keadaan akhir, sedangkan respon steady state adalah kondisi keluaran sesudah habis respon transien sehingga waktu relative tak terhingga. Sehingga diketahui pengaruh *steady state* dan *transien* terhadap respon waktu

2.3.4 Structure Analysis

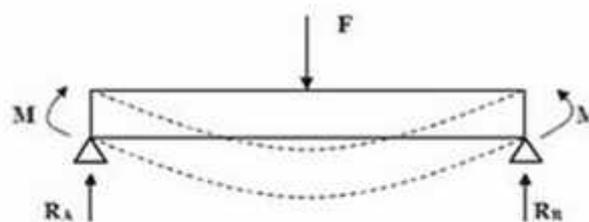
Analisis struktur mungkin merupakan aplikasi yang paling umum dari metode elemen hingga. Istilah struktural (atau struktur) tidak hanya menyiratkan struktur teknik sipil seperti jembatan dan bangunan, tapi juga struktur kapal, aeronautika, dan mekanis seperti lambung kapal, badan pesawat terbang, dan casing mesin, serta komponen mekanis seperti piston, bagian mesin, dan alat-alat.

Struktur yang termasuk dalam jenis analisis ini mencakup semua yang harus tahan terhadap beban, seperti bangunan, jembatan, dan lain-lain . Analisis struktural menggunakan bidang mekanika terapan, ilmu material dan matematika terapan untuk menghitung deformasi struktur, kekuatan internal, tekanan, reaksi pendukung, percepatan, dan stabilitas. Hasil analisis digunakan untuk memverifikasi kebugaran struktur untuk digunakan, seringkali menghalangi pengujian fisik. Analisis struktural merupakan bagian penting dari desain struktur struktur.

Pada struktur stabil, deformasi yang diakibatkan beban pada umumnya kecil dan gaya dakhil (*internal*) yang timbul dalam struktur mempunyai kecenderungan mengembalikan bentuk semula apabila bebannya dihilangkan. Pada struktur tidak stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban pada umumnya mempunyai kecenderungan untuk terus bertambah selama struktur dibebani. Struktur yang tidak stabil mudah mengalami keruntuhan secara menyeluruh dan seketika begitu dibebani. Sebagai contoh, bayangkan tiga buah balok disusun membentuk rangka segiempat. Berikan gaya horizontal diujung rangka atas balok tersebut. Maka lama kelamaan rangka itu roboh. Salah satu cara untuk membuatnya lebih stabil dengan *bracing* atau mengisinya dengan dinding. Selain dengan yang disebutkan tadi, ketidakstabilitas struktur bisa diakibatkan juga oleh kelemahan kolom yang diakibatkan tekuk maupun efek *P-Delta*.

Sangat penting bagi insinyur ataupun mahasiswa untuk mengklasifikasi struktur baik bentuk maupun fungsi dengan mengenali berbagai elemen yang menyusun struktur tersebut. Elemen struktur diantaranya :

a) Elemen Lentur



Gambar 2.7 Elemen lentur pada balok sederhana

Sebuah balok langsing yang diberi perletakan sederhana akan menghasilkan lenturan. Sebutan masalah lentur diartikan pada studi mengenai tegangan dan deformasi yang timbul pada elemen yang mengalami aksi gaya.

b). Elemen Tekan

Selain dinding pemikul beban, kolom juga merupakan elemen vertikal yang sangat banyak digunakan. Umumnya kolom tidak mengalami lentur secara langsung dikarenakan tidak ada beban tegak lurus pada sumbunya.

c). MEMBRAN

Membran adalah suatu struktur permukaan fleksibel tipis memikul beban terutama melalui proses tegangan tarik. Struktur membran cenderung dapat menyesuaikan diri dengan cara struktur dibebani. Selain itu struktur ini sangat peka terhadap efek aerodinamika dari angin.

d). CANGKANG

Cangkang adalah bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan yang lengkung. Beban-beban yang bekerja pada permukaan cangkang diteruskan ke tanah dengan menimbulkan tegangan geser, tarik, dan tekan pada arah dalam bidang (*in-plane*) permukaan tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa untuk dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh.

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Di PT. Industri Kapal Indonesia
2. Simulasi dilakukan di Laboratorium Struktur, Program Studi Teknik Kelautan, Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian akan dilaksanakan selama 7 bulan yaitu bulan April – Oktober 2017

3.2 Penyajian Data Penelitian

Data ini diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber atau informasi lainnya yg erat kaitannya dengan penelitian ini. Adapun data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Pelat ; untuk mengetahui hasil tegangan dari pengelasan pelat

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah dengan cara mencari referensi sebanyak-banyaknya, dan juga ke PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) untuk melakukan penelitian sekaligus bertanya yang bersangkutan dengan Pengelasan Pelat. Proses analisa ini bertujuan agar data-data yang ada, dapat di simpulkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, yaitu hasil penelitian serta analisisnya diuraikan dalam suatu tulisan ilmiah yang berbentuk narasi, kemudian dari analisis yang telah dilakukan diambil suatu kesimpulan.

3.4 Metode dan Analisis data

3.4.1 Metode

Penelitian ini menggunakan metode *non linear finite elemen analysis* dengan aplikasi ANSYS untuk menganalisa tegangan sisa yang terjadi pada pelat saat terjadi pengelasan, sehingga diperoleh hasil tegangan-regangan serta kekuatan batas dari pelat.

3.4.2 Analisis data

Tahapan pertama yang akan dianalisa pada pelat dengan ukuran 150 x 150 x 10 mm untuk mengetahui kekuatan batas pelat sebelum diberikan panas akibat pengelasan dan sesudah pengelasan kemudian membandingkan kedua hasil tersebut. Kemudian hasil analisa disimulasikan menggunakan software ANSYS dengan menggunakan analisa *thermal* dan *structural*.

Tahapan Pemodelan dan Hasil Analisa Struktur Pelat dengan ANSYS. Pemodelan struktur merupakan langkah awal dari perhitungan analisa kelelahan dalam penelitian ini. Adapun tahapan-tahapan pemodelannya sebagai berikut:

1. Memberikan Judul Kerja Yang Dianalisis

Judul objek yang hendak dianalisis dapat diberikan sebagai berikut. Klik file-change title (muncul kotak dialog *change title*). Pada [/TITLE] Enter new title isikan “welding stress”.

2. Memilih Jenis Kasus yang Akan dianalisis

Pada langkah ini, karena persoalan adalah tentang pengelasan pelat, maka dipilih jenis struktural dengan cara sebagai berikut. Pilih Preferences (muncul kotak dialog *preferences for GUI Filtering*) – pilih *Structural – thermal* -pilih *h - Method* – OK.

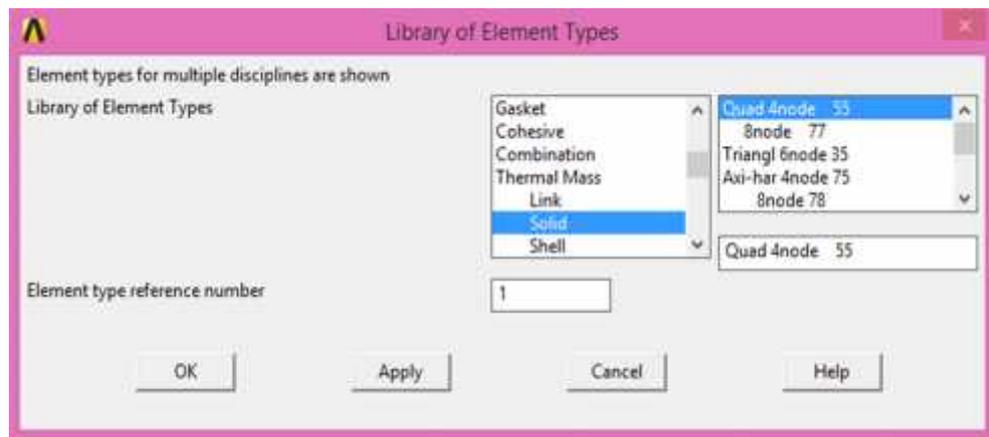


Gambar 3.1. Window Pemilihan Jenis Analisis (Hasil Olahan, 2017)

3. Memilih jenis (tipe) elemen yang digunakan

Setelah gambar frame selesai, maka langkah selanjutnya adalah

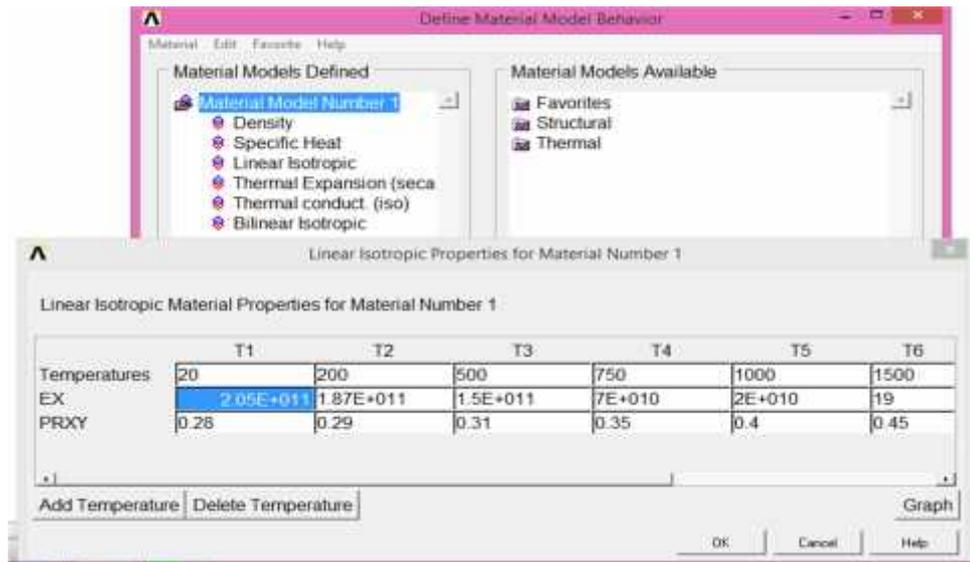
menentukan tipe elemen pipe. Caranya adalah sebagai berikut: Pilih *Preprocessor – Element Type – Add/edit/delete* maka akan muncul kotak dialog *Element Types*, lalu klik *Add* (muncul kotak dialog *Library of Element Types*) dan pilih *structural* mass-nya *thermal mass-solid* dan jenis *Quad 4node 55* dan *Brick 8node 70*, kemudian klik *OK* (kembali ke kotak dialog *Element Types*) lalu klik *Close*.



Gambar 3.2. Window Pemberian *Element Material*
(Hasil Olahan, 2017)

4. Memberikan properti material

Berikut langkah untuk menentukan atau memberikan nilai properti material untuk pipe. *Preprocessor – Material Props – Material Model – Struktural – Linear – Elastic – Isotropic* (muncul kotak dialog *Linear Isotropic Prop*) lalu pada baris *EX* diisikan $2.1E+005$, sebagai nilai *modulus elastisitas* dan pada baris *PRXY* diisikan $0,3$ (nilai *poisson's ratio*) karena berhubungan dengan suhu maka dibuat sampe bervariasi lalu klik *OK* dan Tutup tampilan *Define Material Model Behavior* (Gambar 3.3).



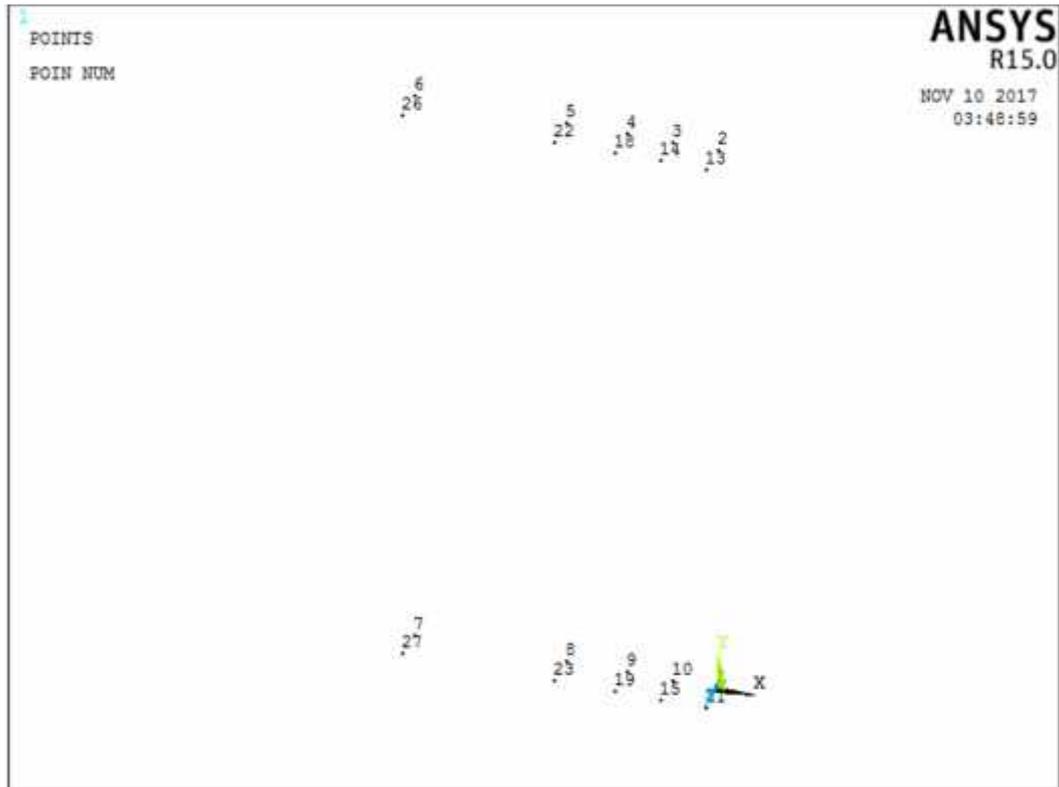
Gambar 3.3 Window Pemberian *Properties Material*
(Hasil Olahan, 2017)

5. Meletakkan *Keypoint – Keypoint* sesuai dengan titik koordinat

Dalam penggambaran Pelat, langkah awalnya adalah dengan menentukan titik-titik pembentukannya yang terdiri dari beberapa keypoint. Berikut langkah yang akan dilakukan: *preprocessor > modeling > create > keypoint > in active cs* (muncul *window create keypoint*) pada window tersebut isikan nomor *keypoint* dan koordinatnya mulai dari nomor 1 sampai nomer yang ditentukan dan setiap setelah selesai pemberian nomer dan koordinat keypoint selalu klik apply dengan koordinat seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Window Pemberian nomor dan *koordinat keypoint*
(Hasil Olahan, 2017)



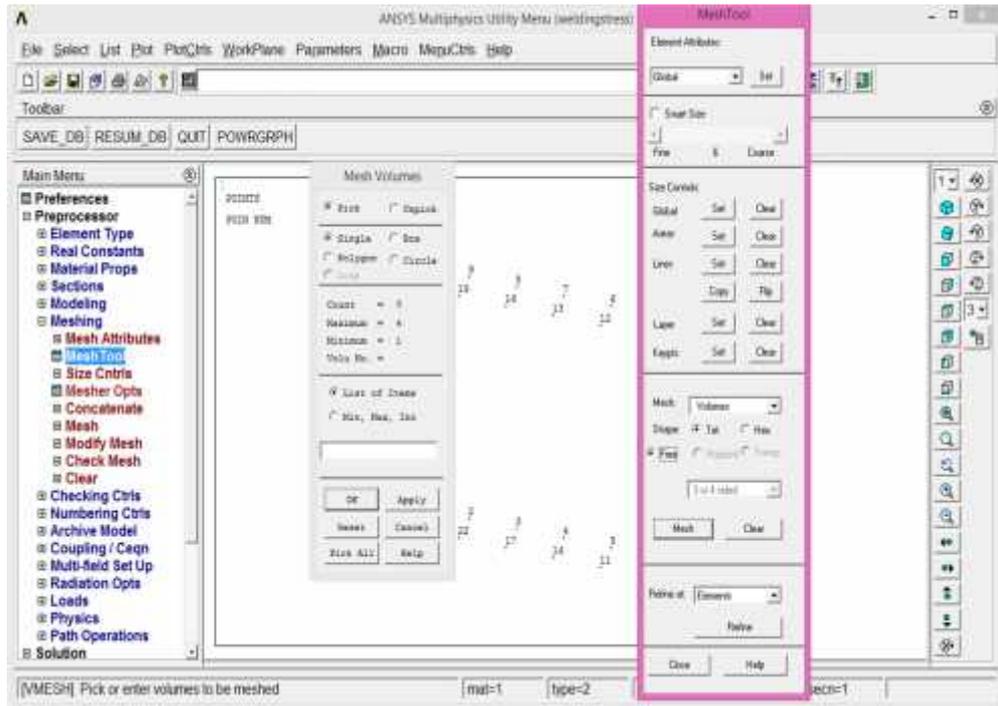
Gambar 3.5. Window Penggambaran *Keypoint* (Hasil Olahan, 2017)

6. Menghubungkan *keypoint* yang sudah ada sehingga membentuk garis – garis

Dibawah ini gambar di mana *keypoint* akan saling dihubungkan sehingga membentuk garis – garis pembentuk frame stuktur kaki jacket dengan cara berikut. *Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > In Active Coord* (muncul *window Lines in Active Coord*), lalu klik titik – titik yang akan dihubungkan.

7. Menampilkan frame dalam bentuk sudah ter-meshing

Mesh yang telah diberi 10 akan ditampilkan sebagai berikut. *Preprocessor – Meshing – MeshTool – size control – global – mesh* (muncul *window Mesh Lines*) lalu klik area yang ingin dimesh kemudian klik *apply* (Gambar 3.6).

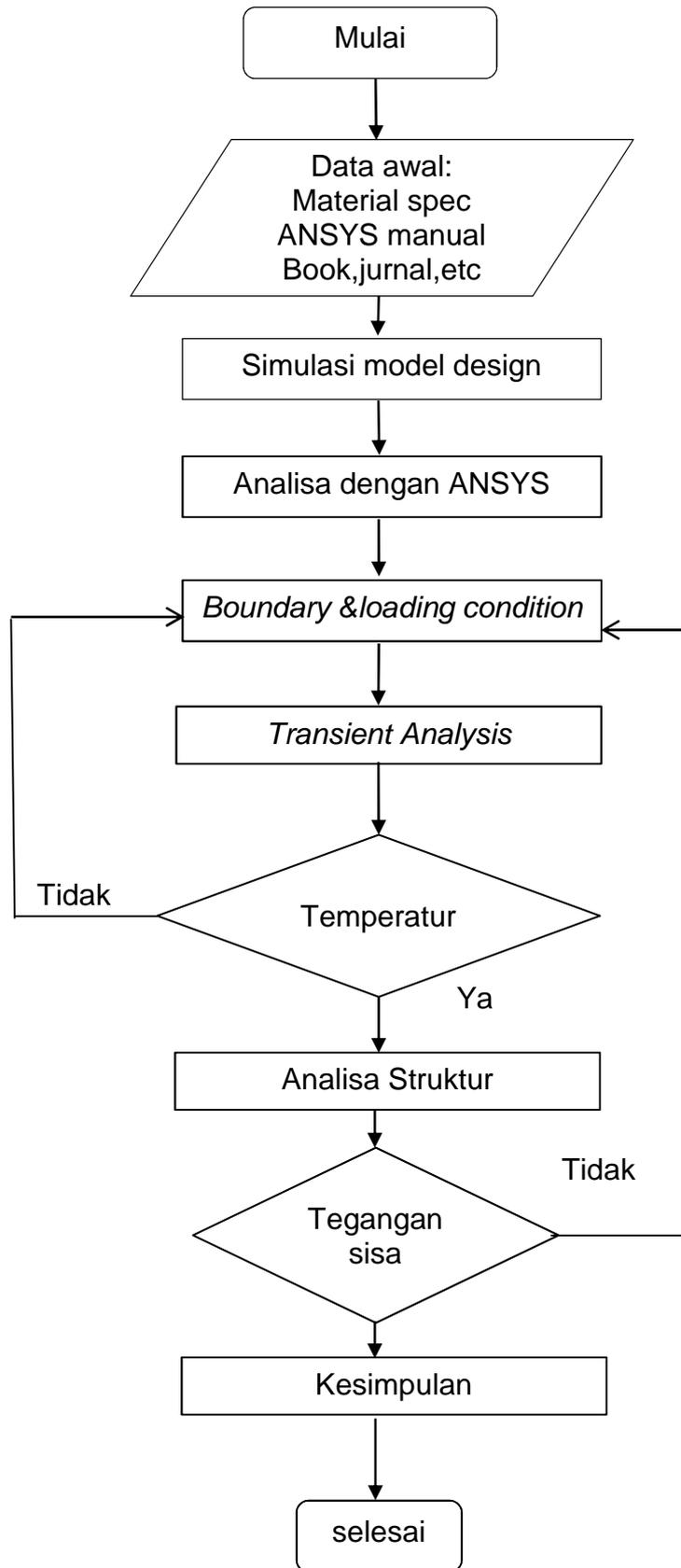


Gambar 3.6. langkah proses *meshing* (Hasil Olanan, 2017)



Gambar 3.7. *Frame* yang telah ter-*meshing* (Hasil Olanan, 2017)

3.5 Alur Penelitian



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Syarat Batas dan Pembebanan

4.1.1 Kondisi syarat batas

Kondisi syarat batas, di bidang persamaan diferensial, masalah nilai batas adalah persamaan diferensial bersama dengan satu set kendala tambahan, yang disebut kondisi batas. Solusi untuk masalah nilai batas adalah solusi terhadap persamaan diferensial yang juga memenuhi kondisi batas.

Masalah nilai batas muncul di beberapa cabang fisika karena setiap persamaan diferensial fisik akan memilikinya. Permasalahan yang melibatkan persamaan gelombang, seperti penentuan mode normal, sering dinyatakan sebagai masalah nilai batas. Kelas besar masalah nilai batas penting adalah masalah Sturm-Liouville. Analisis masalah ini melibatkan fungsi eigen dari operator diferensial.

4.1.2 Pembebanan

Pada pembebanan pada struktur ada 2 yaitu :

1. **Beban Mati**

Beban mati struktur adalah berat struktur itu sendiri, semua perlengkapan yang permanen dan perlengkapan struktur yang tidak berubah selama beroperasinya struktur.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang mengenai struktur dan berubah selama operasi platform berlangsung.

4.2 Hasil dan Analisa Tegangan Sisa Analisa

Hasil analisisnya menggunakan software Ansys 15, kemudian kasusnya berhubungan dengan analisa structural dan thermal. Pemodelan pengelasan yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan pemberian beban *heat flux transient*. Artinya perubahan beban berdasarkan fungsi waktu dan posisi. Analisa thermal yang dilakukan akan menghasilkan tegangan panas *transient*, kemudian dimasukkan kedalam analisa structural sebagai beban dinamis. Output akhirnya adalah berupa *transient stress* dan *total stress* pada struktur akibat pengelasan.

Waktu antara terjadinya pengelasan dan akhir pendinginan untuk suhu lingkungan dapat dibagi menjadi interval cukup kecil sehingga suhu dan tekanan termal untuk setiap interval dapat dianggap sebagai konstan. Karena perubahan suhu cepat pada awal pengelasan dan terus menurun seiring berjalannya waktu, kenaikan tiap waktu seharusnya cukup kecil pada awal pengelasan dan relatif besar seperti penambahan waktu. Perhitungan tegangan sisa pengelasan biasanya berdasarkan pada distribusi suhu dan kenaikan tegangan *termal*.

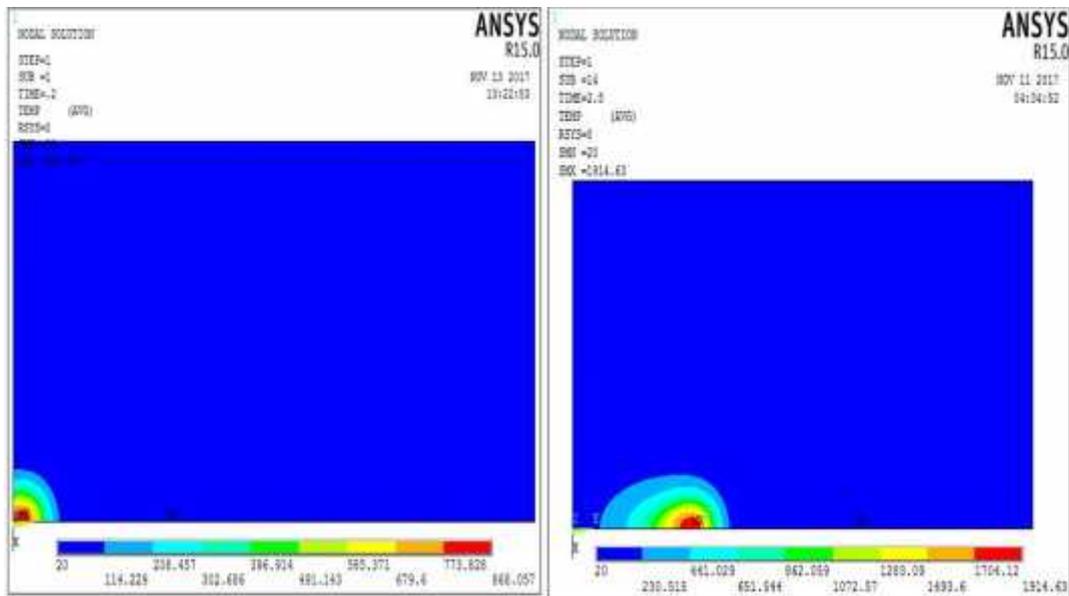
Model untuk analisa *thermal* dan *structural* pada material akibat pengelasan, sesuai dengan sifat pembebanan dinamik yaitu perubahan beban berdasarkan fungsi posisi dan waktu maka analisa yang dilakukan

adalah *analysis transient full solution method*.

4.2.1 Hasil Pemodelan Pengelasan butt joint

Hasil pemodelan yang pertama dengan menggunakan suhu (*thermal*) karena kita ingin mengetahui pengaruh panas terhadap pengelasan pada pelat, sehingga kita bisa mengambil kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan hal tersebut dapat dilihat pada sampel berikut:

a) Analisa distribusi suhu pada 0,2 detik & 2,8 detik

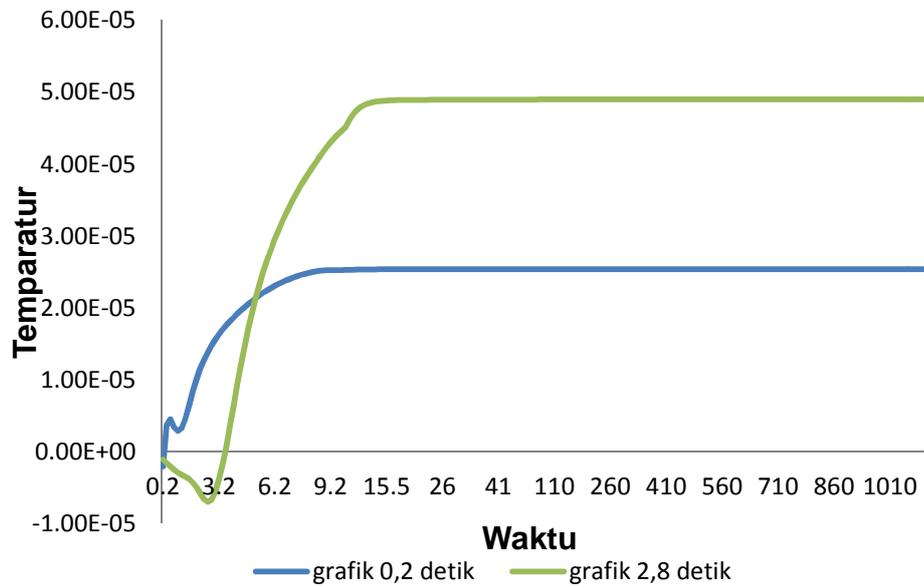


Gambar 4.1 plot kontur 3D distribusi suhu pada 0,2 detik & 2,8 detik

(Hasil Olahan, 2017)

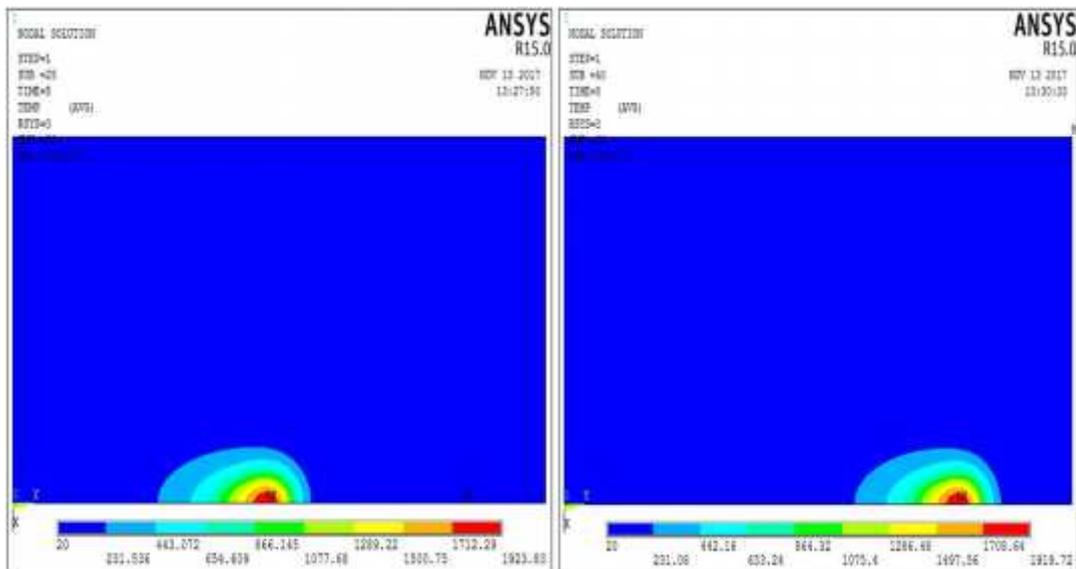
Dari Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan distribusi suhu pada 0,2 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step 1* ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 868,057K , sedangkan pada 2,8 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step 1* ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 1914,63 K untuk analisis saat ini,dan berada dalam konvensi yang baik. Hasilnya menunjukkan bahwa

pelat tersebut mengalami variasi suhu yang signifikan. Pada awalnya, pengurangan suhu di daerah yang dekat dengan sumbu las menunjukkan efek pendinginan.



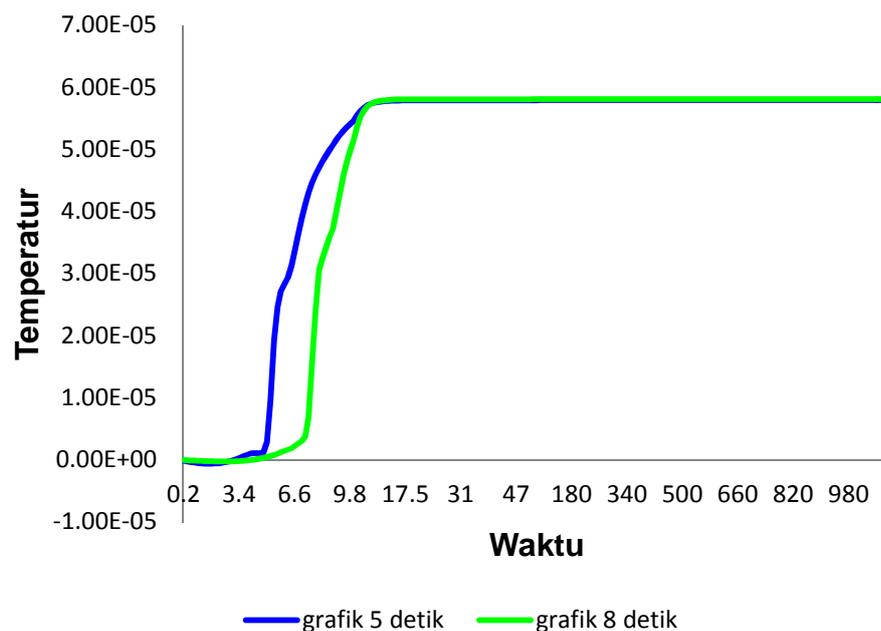
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 0,2 detik & 2,8 detik (Hasil Olahan, 2017)

b) Analisa distribusi suhu pada 5 detik & 8 detik



Gambar 4.3 plot kontur 3D distribusi suhu pada 5 detik & 8 detik (Hasil Olahan, 2017)

Dari Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan distribusi suhu pada 5 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 1 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 1923,83K, Sedangkan suhu pada 8 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 1 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 1919,72 K untuk analisis saat ini, dan berada dalam konvensi yang baik. Hasilnya menunjukkan bahwa pelat tersebut mengalami variasi suhu yang signifikan. Pada awalnya, pengurangan suhu di daerah yang dekat dengan sumbu las menunjukkan efek pendinginan.

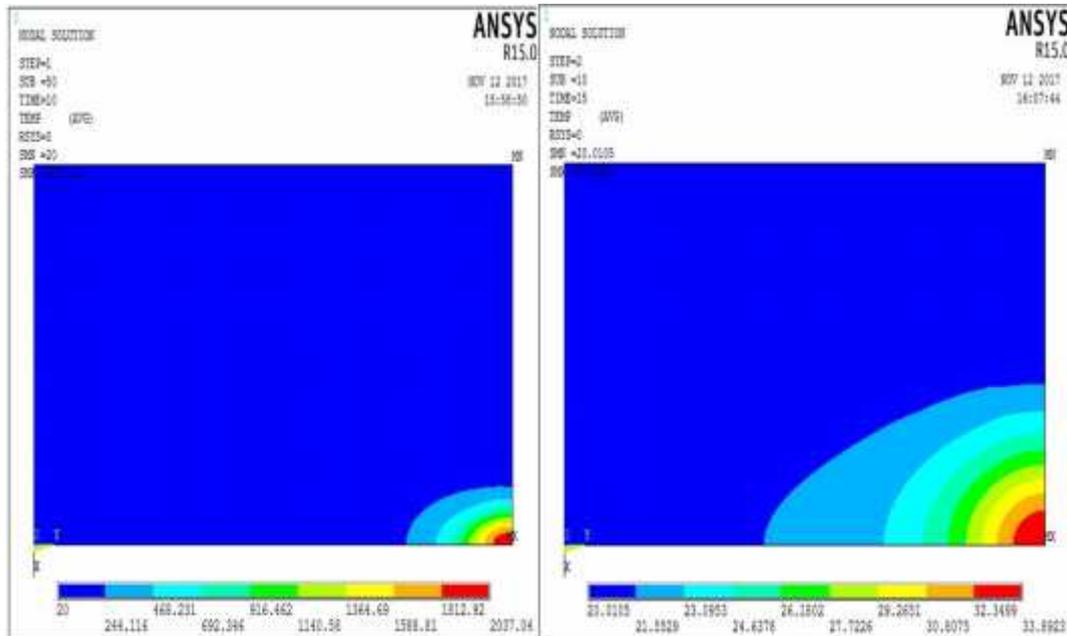


Gambar 4.4 Grafik perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 5 detik & 8 detik (Hasil Olahan, 2017)

Pada Gambar 4.4 menunjukkan perubahan bentuk grafik yang signifikan berdasarkan pola waktu yang semakin bertambah tiap substepnya seiring dengan kecepatan las yang membuat distribusi panas

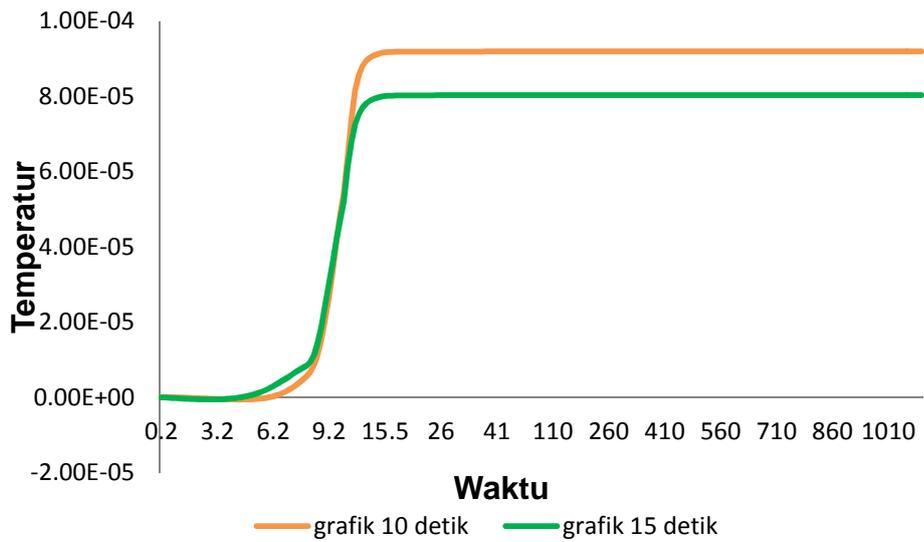
yang berpindah-pindah searah dengan garis pengelasan yang bisa membuat distribusi panasnya menjadi tidak merata.

c) Analisa distribusi suhu pada 10 detik & 15 detik



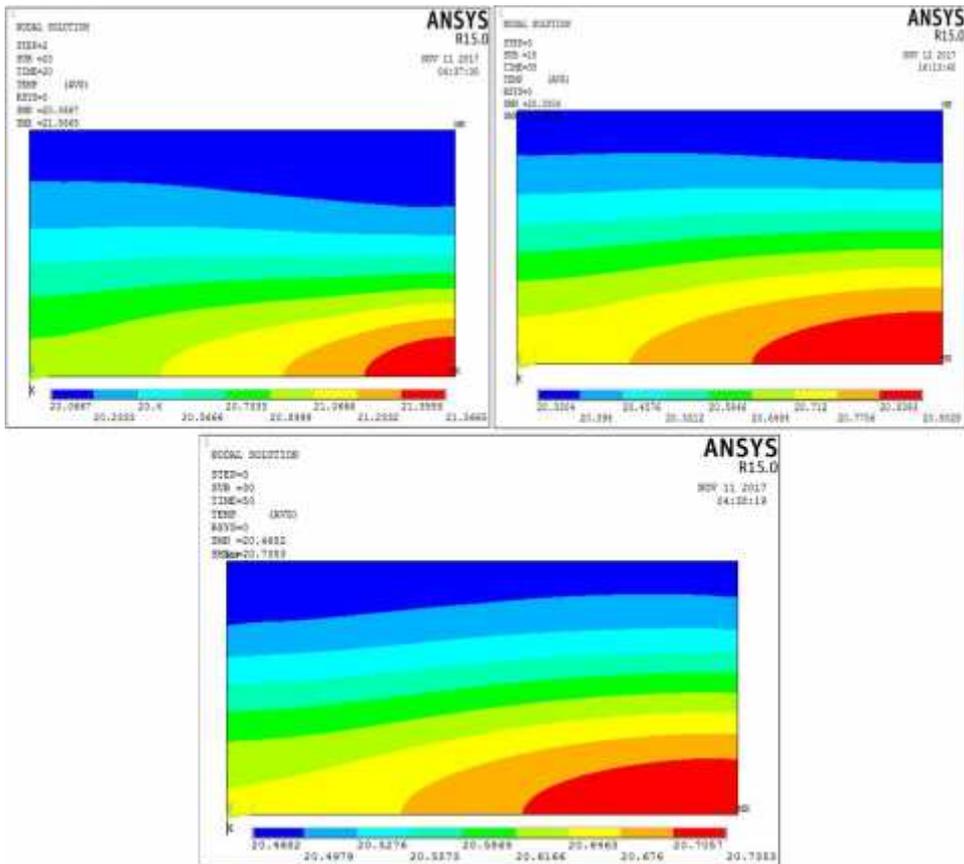
Gambar 4.5 plot kontur 3D distribusi suhu pada 10 detik & 15 detik
(Hasil Olahan, 2017)

Dari Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan distribusi suhu pada 10 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 1 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 2037,04K, sedangkan suhu pada 15 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 2 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 33, 8923 K untuk analisis saat ini, dan berada dalam konvensi yang baik. Hasilnya menunjukkan bahwa pelat tersebut mengalami variasi suhu yang signifikan. Pada awalnya, pengurangan suhu di daerah yang dekat dengan sumbu las menunjukkan efek pendinginan.



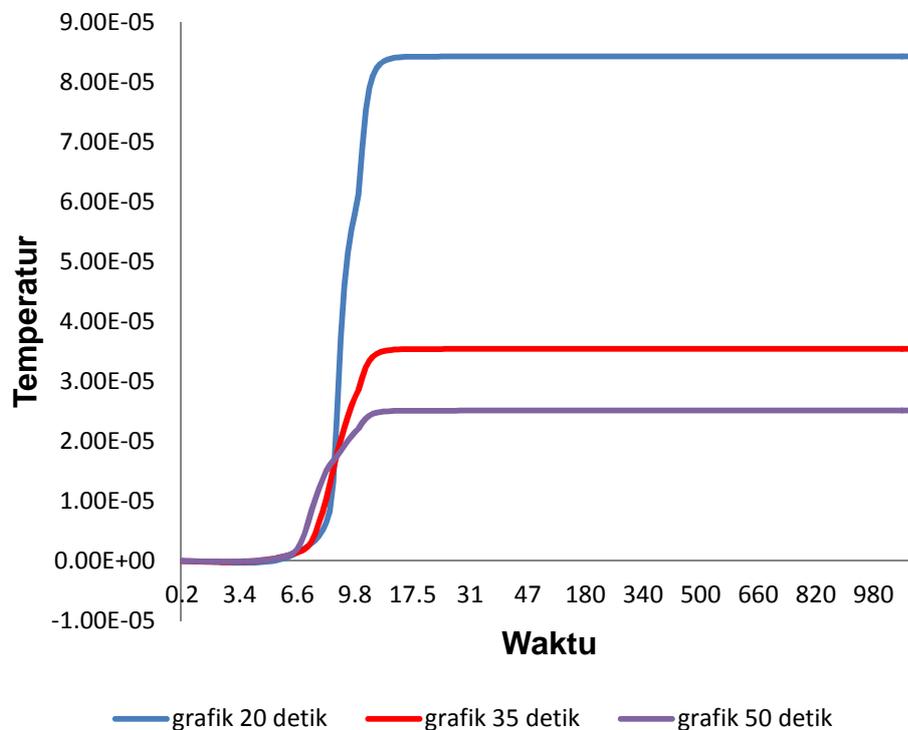
Gambar 4.6 Grafik perbandingan distribusi suhu berdasarkan waktu 10 detik & 15 detik (Hasil Olahan, 2017)

d) Analisa distribusi suhu pada 20, 35 & 50 detik



Gambar 4.7 plot kontur 3D distribusi suhu pada 20,35 & 50 detik (Hasil Olahan, 2017)

Dari Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan distribusi suhu pada 20 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 2 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 21,5663 K, distribusi suhu pada 35 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 3 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 20,9092 K, sedangkan distribusi suhu pada 50 detik dari garis pusat pengelasan pada *load step* 3 ke tepi pelat sepanjang arah Y (sepanjang sepanjang pelat). Suhu puncak mencapai hingga 20,7353 K untuk analisis saat ini, dan berada dalam konvensi yang baik. Hasilnya menunjukkan bahwa pelat tersebut mengalami variasi suhu yang signifikan. Pada awalnya, pengurangan suhu di daerah yang dekat dengan sumbu las menunjukkan efek pendinginan.



Gambar 4.8 Grafik distribusi suhu berdasarkan waktu 20,35 & 50 detik (Hasil Olahan, 2017)

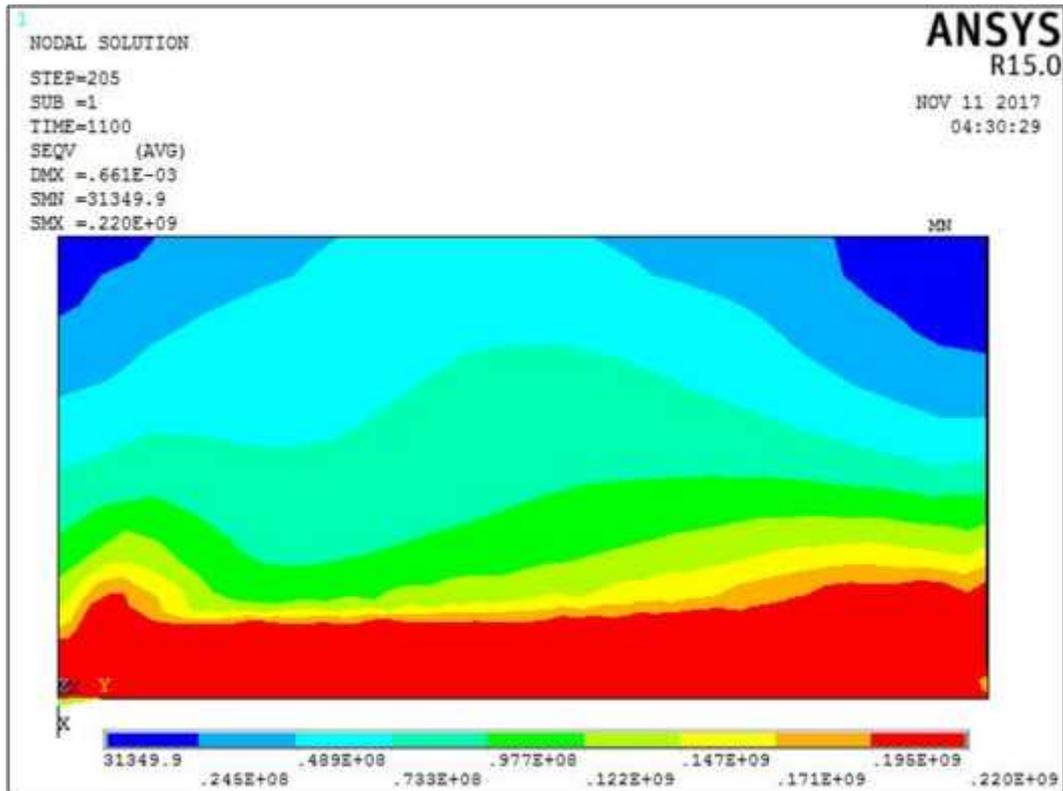
Pada gambar 4.8 menunjukkan perubahan bentuk grafik yang signifikan pada saat pengelasan hampir mencapai ujung pelat, berdasarkan pola waktu yang semakin bertambah tiap substepnya seiring dengan kecepatan las yang membuat area *HAZ* semakin bisa menjadi besar dan membuat distribusi panas menjadi tidak merata.

Di daerah *HAZ* dapat membuat pola distribusi tegangan berangsur berkurang pada material induk dan biasanya tegangan maksimum terjadi pada pertemuan las dan batas material induk dan merupakan titik dan daerah kritis dari sambungan *Butt*.

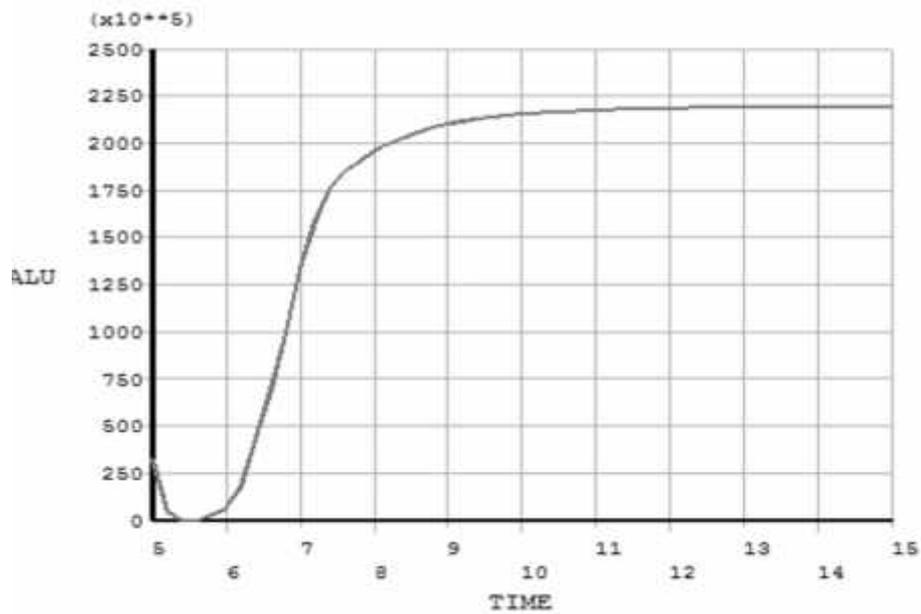
Perubahan bentuk grafik yang signifikan pada saat pengelasan yang hampir mencapai batas, berdasarkan daerah dari *HAZ*nya menggambarkan pelat akan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las.

4.2.2 Hasil Pemodelan tegangan sisa pengelasan

Dari analisa tegangan sisa yang sudah dilakukan dan berdasarkan pola distribusi tegangan total (*von misses stress*) tersebut dapat diamati posisi titik (*node*) dan harga tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan *Butt*. Pola distribusi tegangan menunjukkan harga tegangan sisa pada daerah *HAZ* dan berangsur berkurang pada material induk. Tegangan sisa maksimum sebesar $220 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dan terjadi pada pertemuan las dan batas material induk dan merupakan titik dan daerah kritis dari sambungan *Butt* bisa dilihat pada gambar (4.9).



Gambar 4.9 Tegangan total (*von misses stress*) (Hasil Olahan, 2017)



Gambar 4.10 Grafik hasil tegangan sisa (Hasil Olahan, 2017)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan metode *nonlinear finite element analysis* (NLFEA) untuk menginvestigasi besarnya tegangan sisa yang terjadi setelah pelat mengalami perlakuan panas akibat pengelasan. Dari hasil metode NLFEA yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

Distribusi suhu pada tiap detik pada load step 1 menunjukkan laju panas dari ujung pengelasan, sedangkan pada load step 2 menunjukkan perubahan bentuk daerah yang terkena panas akibat pengelasan, sehingga pada load step 3 daerah panas yang dihasilkan sudah mencapai batas maksimum dan bisa terlihat jelas bentuk perubahan dari awal pengelasan hingga mencapai ujung pelat, sehingga distribusi panas yang dihasilkan dapat membuat daerah pendinginan di area tersebut semakin cepat. Karena semakin lebar daerah HAZ maka pendinginan di daerah tersebut semakin cepat terjadi.

Dari analisis suhu yang dilakukan maka diperoleh tegangan sisa total sebesar $220 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, semakin besar load step dan heat input maka semakin besar tegangan sisa yang terjadi, tegangan maksimum harus mendekati tegangan luluh struktur, dan semakin tebal pelat dapat mereduksi tegangan sisa hingga mencapai batas aman. Bentuk sambungan pengelasan mempengaruhi besarnya tegangan sisa yang terjadi saat pengelasan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada pengelasan butt joint untuk mengetahui besarnya tegangan sisa yang terjadi, penulis dapat menyarankan beberapa hal berikut

1. Hendaknya di lakukan eksperimen pada model sambungan pengelasan lain untuk mengetahui pengaruh tegangan sisa yang terjadi pada pelat.
2. Agar analisa yang dilakukan lebih teliti maka ukuran meshing pada pemodelan lebih diperkecil

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M., 1989, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- ASM, 1989, *Metallurgy and Microstructures*, ASM Handbook Committee, MetalPark, Ohio.
- Bhafikatti, SS. 2005. *Finite Element Analysis*. New age international. New Delhi.
- BJM Beumer, *Ilmu Bahan Logam, Jilid 1*, Bharata Karya Aksara, Jakarta 1985.
- Dai H, Keavey MA, Withers PJ. *Modelling of Residual Stress in Thick-Section Ferritic Steel Welds Considering Phase Transformation Effects*. Manchester: University of Manchester, 2009. p.34.
- Feng Z, Wang XL, Spooner S, Goodwin GM, Maziasz PJ, Hubbard CR, Zacharia T. A finite element model for residual stress in repair welds. Conference: American Society of Mechanical Engineers (ASME) pressure vessels and piping conference, Montreal (Canada), 21-26 Jul 1996; Other Information: PBD: 28 Mar 1996, 1996. p.Medium: ED; Size: 7 p.
- https://www.academia.edu/9326458/SHIELD_METAL_ART_WELDING_S_MAW_LAS_LISTRIK. Diakses 20 November 2017, 7:07 AM
- <http://caswww.colorado.edu/courses.d/FEM.d/Home.html>. Diakses 20 November 2017, 7:07 AM
- https://www.researchgate.net/publication/265672837_ANALISA_PENGAR_UH_GROOVE_DAN_GAP_TERHADAP_HASIL_PENGELASAN_S_MAW_BUTT. Diakses 20 November 2017, 7:07 AM
- <http://www.toodoc.com/finite-elements-ppt.html>. Diakses 20 November 2017, 7:07 AM
- Hutton F, David. *Fundamentals Of Finite Elements*. 2004. McGraw-Hill?
- Introduction to *Finite Element Methods* (ASEN 5007) - Fall 2009
Department of Aerospace Engineering Sciences University of Colorado at Boulder
- Klaus Jurgen Bathe, *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, 1996
- Malau, V., 2003, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta.
- Muhadhi., 2009. *Pengertian Pengelasan*.

Sonawan, H., Suratman, R., 2004, *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*, Ifa Beta, Bandung.

Wiryosumarto, H dan Okumura, T. (1996). "Teknologi Pengelasan Logam". Jakarta: Pradnya Paramita. .

Wiryosumarto, H., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta.

www.wikipedia.com. Diakses 20 November 2017, 7:07 AM