

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Wibowo mengatakan dalam penelitiannya bahwa dalam analisis ini, ada tiga urutan pengelasan yang digunakan. Analisis numerik dilakukan untuk mendapatkan pengaruh urutan pengelasan terhadap tegangan sisa dan distorsi yang terjadi pada struktur pengaku. Analisis numerik dilakukan pada perangkat lunak metode elemen hingga untuk menganalisis perilaku termo-mekanik, tegangan sisa dan distorsi pada pelat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi urutan pengelasan berpengaruh terhadap distorsi, tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap tegangan sisa longitudinal [9].

Proses pengelasan memiliki peran utama dalam produksi industri, khususnya dalam industri otomotif, kelautan, dan dirgantara. Karena simulasi lebih murah, simulasi proses pengelasan untuk sambungan lap menggunakan analisis elemen hingga dapat dilakukan. Dalam penelitian ini dipilih bahan aluminium seri 2400, karena sifat fisik dan termalnya. Pelat aluminium 460x310 mm dengan ketebalan sambungan pangkuan 3 mm. Dua tahap pemodelan dan analisis dilakukan. Tahap pertama meliputi perancangan proses *arc welding* untuk Aluminium *Lap Joint*. Analisis termal dari sumber panas bergerak tiga dimensi dengan mempertimbangkan metode distribusi Gaussian dan sifat-sifat yang bergantung pada suhu yang membandingkan kolam las yang sebenarnya [13].

Dalam penelitiannya, Pilipenko telah melakukan simulasi teknik pengelasan busur rendam 2D dan 3D dengan menggunakan tiga elektrode satu kali jalan (*three-electrode one-pass welding process*) dan elektrode tunggal dengan beberapa kali pengelasan (*one-electrode multi-pass process*). Deformasi dan tegangan meningkat selama proses pengelasan yang disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata pada bagian yang

dilas. Hasil dari pengelasan tegangan sisa longitudinal lebih besar dari tegangan transversal bahkan mencapai tegangan *yield-nya* hampir disepanjang lasan. Sedangkan tegangan sisa transversal pada beberapa kasus akan mendekati tegangan *yield* di ujung lasan. Distorsi yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain kedalaman penetrasi, lebar lasan, bentuk dari lasan serta sifat-sifat material logam induk (*base metal*) dan logam pengisi (*filler metal*). Pengelasan menggunakan tiga elektrode menghasilkan penyusutan melintang (*transverse shrinkage*) 70% lebih kecil daripada elektrode tunggal tiga kali jalan. Selain itu distorsi sudut yang diakibatkan juga lebih kecil sebesar 65%. Sedangkan untuk penyusutan memanjang (*longitudinal shrinkage*) yang dihasilkan 50% lebih besar daripada yang dihasilkan pengelasan dengan elektrode tunggal tiga kali *passing* [14].

Proses pengelasan *butt-joint* dengan menggunakan *Submerged Arc Welding* (SAW) pada pelat berdimensi 500x200x20 mm dengan bantuan perangkat lunak ANSYS 6.0 berbasis metode elemen hingga. Analisis dilakukan untuk mengetahui distribusi panas pengelasan, tegangan sisa transversal-longitudinal, dan distorsi. Simulasi yang dilakukan adalah membandingkan 4 (empat) variasi urutan pengelasan dan, kemudian dari ke 4 (empat) model tersebut akan dipilih urutan pengelasan yang menghasilkan hasil optimum. Aliran panas secara konduksi dalam pengelasan ini berkisar pada rentang temperatur 299,986°K hingga 2629°K, bagian yang mengalami pengelasan mencapai temperatur tertinggi. Tegangan sisa maksimum yang terjadi adalah tegangan sisa longitudinal yaitu tegangan tarik sebesar 450 Mpa dan tegangan tekan sebesar 306 Mpa pada pengelasan variasi IV. Tegangan sisa longitudinal yang minimum sebesar 344 Mpa dan tegangan tekan sebesar 161Mpa terjadi pada pengelasan variasi III. Distorsi maksimum sebesar 0,284 mm terjadi pada pengelasan variasi IV, sedangkan distorsi minimum sebesar 0,106 mm terjadi pada pengelasan variasi II. Cara yang menghasilkan

pengelasan optimum adalah pengelasan 2 kali pass searah (pengelasan variasi II) dan menggunakan heat input yang berbeda untuk tiap pass-nya [15].

Menurut Vemanaboina, hasil dari masukan panas adalah deformasi struktural dan pembentukan tegangan sisa. Pemodelan suhu dan tegangan sisa adalah salah satu proses kompleks yang memanfaatkan parameter las dan sifat material pada suhu yang lebih tinggi. Representasi model fluks panas dikembangkan menggunakan sumber panas dengan kondisi konstan dan diterapkan secara seragam. Pekerjaan saat ini dilakukan dengan model fluks panas silinder selanjutnya model realistik dimungkinkan dengan menggabungkan hadir dengan model fluks panas lainnya, seperti Gaussian. Distribusi suhu dan analisis tegangan telah dilakukan dengan model yang dikembangkan dengan menggunakan sifat material yang bergantung pada suhu untuk *Stainless steel* 304 [11].

## 2.2 Baja Tahan Karat

*Stainless steel* merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi karena pembentukan lapisan film kromium oksida ( $Cr_2O_3$ ). *Stainless steel* tahan terhadap korosi dan oksidasi karena adanya unsur yang ditambahkan pada paduan besi carbon seperti nikel, mangan, molybdenum, nitrogen dan elemen lain yang sangat mempengaruhi properties material. Menurut kandungan prosentase Cr-Ni *stainless steel* dibagi menjadi *austenitic*, *martensitic*, *ferritic* dan *duplex* [5]. Klasifikasi dari baja tahan karat ini dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Tahan Karat[1]**

Klasifikasi	Komposisi Utama(%)			Sifat Mampu Keras	Sifat Tahan Korosi	Sifat Mampu Tempa	Sifat Mampu Las	Kemagnetan
	Cr	Ni	C					
Baja Tahan Karat Martensit	11-15	-	$\leq 1,2$	Mengeras Sendiri	Kurang Baik	Kurang Baik	Tidak Baik	Magnet
Baja Tahan Karat Ferit	16-27	-	$\leq 0,35$	Tidak Dapat Dikeraskan	Baik	Baik	Kurang Baik	Magnet
Baja Tahan Karat Austenit	$\leq 16$	$\leq 7$	$\leq 0,25$	Tidak Dapat Dikeraskan	Baik Sekali	Baik Sekali	Baik Sekali	Bukan Magnet

### 2.3 Pegelasan baja tahan karat

#### 1. Hal-hal umum pengelasan baja tahan karat

Pengelasan dengan elektroda terbungkus, seperti las MIG dan Las *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan cara yang banyak digunakan dalam pengelasan baja tahan karat sekarang ini. Di samping itu kadang-kadang digunakan juga busur redam, las sinar elektron-an dan las resistansi listrik. Hal ini disebabkan karena baja tahan karat adalah baja paduan tinggi, maka jelas bahwa kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi dan bisa menyebabkan getas oleh panas dan atmosfer pengelasan [1].

#### 2. Sifat mampu las baja tahan karat

##### a) Baja tahan karat jenis martensit

Baja jenis ini dalam siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan akan membentuk martensit yang keras dan getas sehingga sifat mampu lasnya kurang baik. Dalam mengelas baja tahan karat jenis martensit ini harus memperhatikan dua hal, yaitu: pertama harus diberikan pemanasan mula sampai suhu antara 200°C sampai 400°C dan suhu antara pengelasan



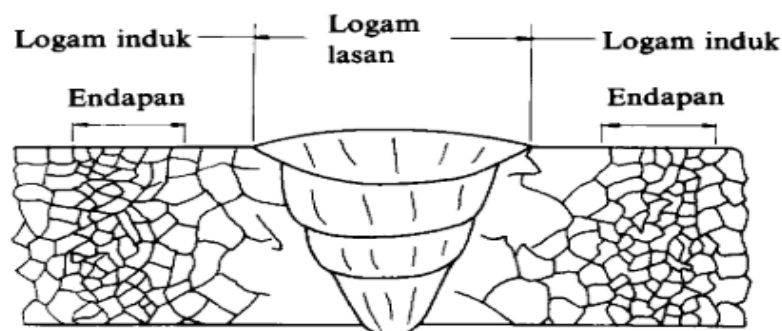
lapisan jangan terlalu dingin dan hal yang perlu diperhatikan yang kedua adalah setelah selesai pengelasan suhu harus ditahan antara 700°C sampai 800°C untuk beberapa waktu [1].

b) Baja tahan karat jenis ferit

Baja tahan karat jenis ferit sangat sukar mengeras, tetapi butirnya mudah menjadi kasar yang menyebabkan ketangguhan dan keuletannya menurun. Penggetasan biasanya terjadi pada pendinginan lambat dari suhu 600°C ke 400°C. Karena sifatnya ini maka pada pengelasan baja ini harus dilakukan pemanasan mula antara 70°C sampai 100°C untuk menghindari retak dingin dan pendinginan dari 600° ke 400°C harus terjadi dengan cepat untuk menghindari penggetasan tersebut [1].

c) Baja tahan karat jenis austenit

Baja tahan karat jenis ini mempunyai sifat mampu las yang baik dibandingkan kedua jenis yang lainnya. Tetapi walaupun demikian pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C akan terbentuk karbin krom yang mengendap diantara butir, seperti contoh yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Endapan ini terjadi pada suhu sekitar 650°C dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan mekaniknya [1].



Gambar 2.1. Endapan antara butir karbit Krom dari baja [1]

## 2.4 Spesifikasi baja tahan karat tipe SS304

SS 304 merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang mempunyai sifat *non magnetic*, dapat dikeraskan dengan *cold working* tetapi tidak bisa dikeraskan dengan *heat treatment*. Pada kondisi aneal *stainless steel* mempunyai sifat *formability* [5]. Biasanya baja tahan karat SS 304 sering digunakan untuk menyambung komponen-komponen menjadi satu konstruksi, hal ini dikarenakan baja tahan karat SS 304 memiliki kelebihan antara lain keuletan yang baik pada suhu yang relatif rendah dan resistansi yang tinggi terhadap lingkungan yang korosif [4]. Setiap penggunaan Stainless Steel tidak lepas dari proses penyambungan dengan pengelasan. Baja jenis ini juga biasa dipergunakan seperti alat kesehatan, kaleng pengemas makanan dan minuman, mesin produksi pengolah makanan dan minuman, bidang otomotif serta peralatan rumah tangga bahkan fasilitas-fasilitas umum. Berikut komposisi baja tahan karat SS304,

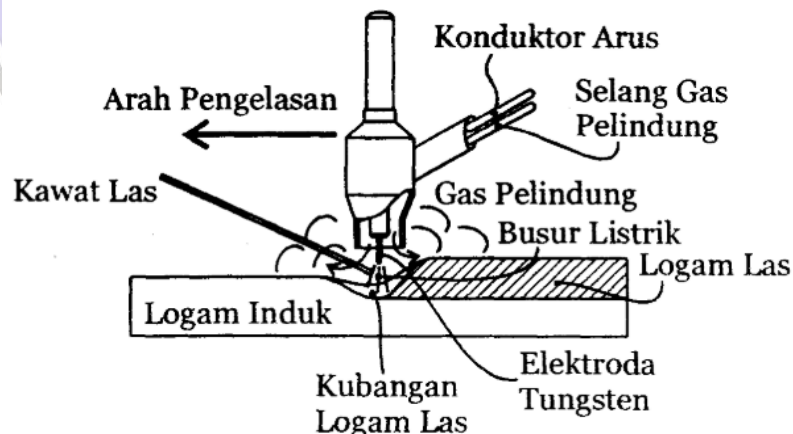
**Tabel 2.2 Komposisi SS304 dengan % berat setiap unsur[16]**

Unsur	Lambang	Kadar %
Besi	Fe	71,3
Crom	Cr	17,42
Nikel	Ni	8,37
Mangan	Mn	1,61
Silikon	Si	0,447
Kobalt	Co	0,313
Vanadium	V	0,278
Karbon	C	0,0637
Tembaga	Cu	0,0277
Fosfor	P	0,0225
Molibden	Mo	0,0141

## 2.5 Pengelasan yang digunakan

*Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau biasa yang disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG). *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah suatu proses pengelasan dengan menggunakan busur nyala yang dihasilkan oleh elektroda tetap yang terbuat dari *tungsten*. Proses ini termasuk pengelasan mencair dimana sebagian logam induk mencair akibat pemanasan busur listrik. Seperti pada proses SMAW dan GMAW, pada proses GTAW ini, busur listrik timbul diantara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Prinsip dasar dari proses GTAW ini tidak jauh berbeda dengan GMAW. Pada proses ini juga digunakan gas pelindung seperti Argon dan Helium sebagai pelindung kubangan logam las [2].

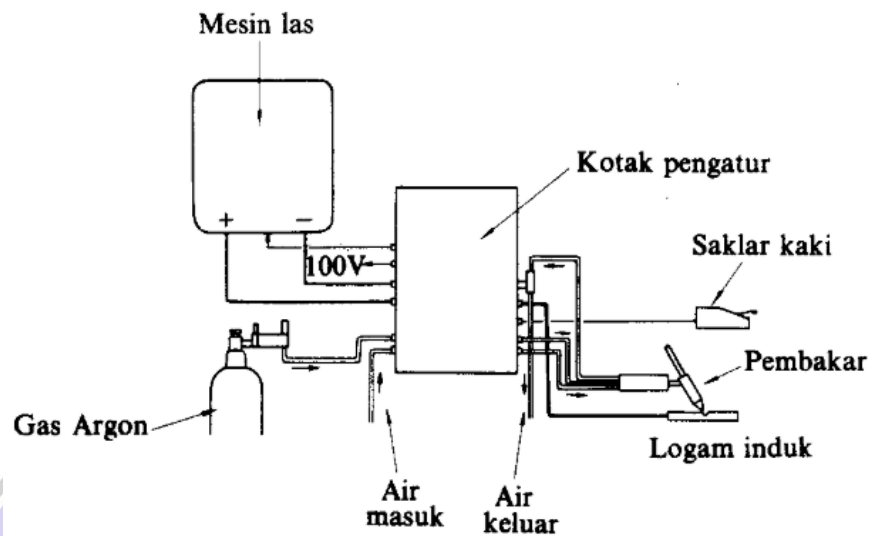
Elektroda yang digunakan dalam las TIG dibuat dari wolfram murni atau paduan antara wolfram-torium yang berbentuk batang dengan garis tengah antara 1,0 sampai 4,8. Dalam ketahanan arusnya elektroda wolfram-torium lebih baik dari wolfram murni. Gas argon murni adalah gas yang dipakai untuk pelindung, karena pencampuran dengan  $O_2$  atau  $CO_2$  yang bersifat oksidator akan mempercepat keausan ujung elektroda [1]. Skema las TIG seperti diperlihatkan pada gambar, 2.1.



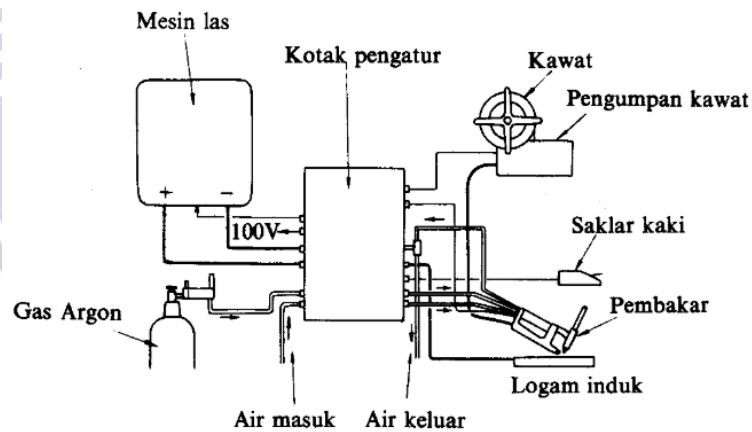
Gambar 2.2 Skema Proses Pengelasan Busur Las TIG atau Las GTAW[2]

Pada pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) terdapat dua cara yang bisa dilakukan yaitu pengelasan dengan tangan dan pengelasan otomatis. Skema dari kedua macam pelaksanaan ini ditunjukkan pada Gambar.2.2

dan 2.3.pada umumnya dalam pengelasan TIG sumber listrik yang digunakan mempunyai karakteristik lamban. Sehingga dalam hal menggunakan listrik DC untuk memulai, busur perlu ditambah dengan listrik AC frekuensi tinggi.



Gambar 2.3 Mesin las TIG dengan tangan[1]



Gambar 2.4 Mesin las TIG semi-otomatis[1]

Penggunaan logam pengisi tidak ada batasnya, biasanya logam pengisi diambil logam yang mempunyai komposisi yang sama dengan logam induk[1]. Penggunaan mesin las TIG untuk beberapa jenis logam dapat dilihat pada tabel 2.3.



**Tabel 2.3 Penggunaan Mesin Las TIG untuk Beberapa Logam[1]**

Logam	Listrik AC Frekuensi Tinggi	Listrik DC PolaritasLurus	Listrik DC Polaritas Balik
Baja	Terbatas	Sesuai	-
Baja Tahan Karat	Terbatas	Sesuai	-
Besi cor	Terbatas	Sesuai	-
Almunium dan paduannya	Sesuai	-	Dapat untuk pelat tipis
Magnesium dan paduannya	Terbatas	-	Dapat untuk pelat tipis
Teambaga dan paduannya	Sesuai	Sesuai	-
Almunium brons	Terbatas	Terbatas	-

## 2.6 Siklus Termal Las

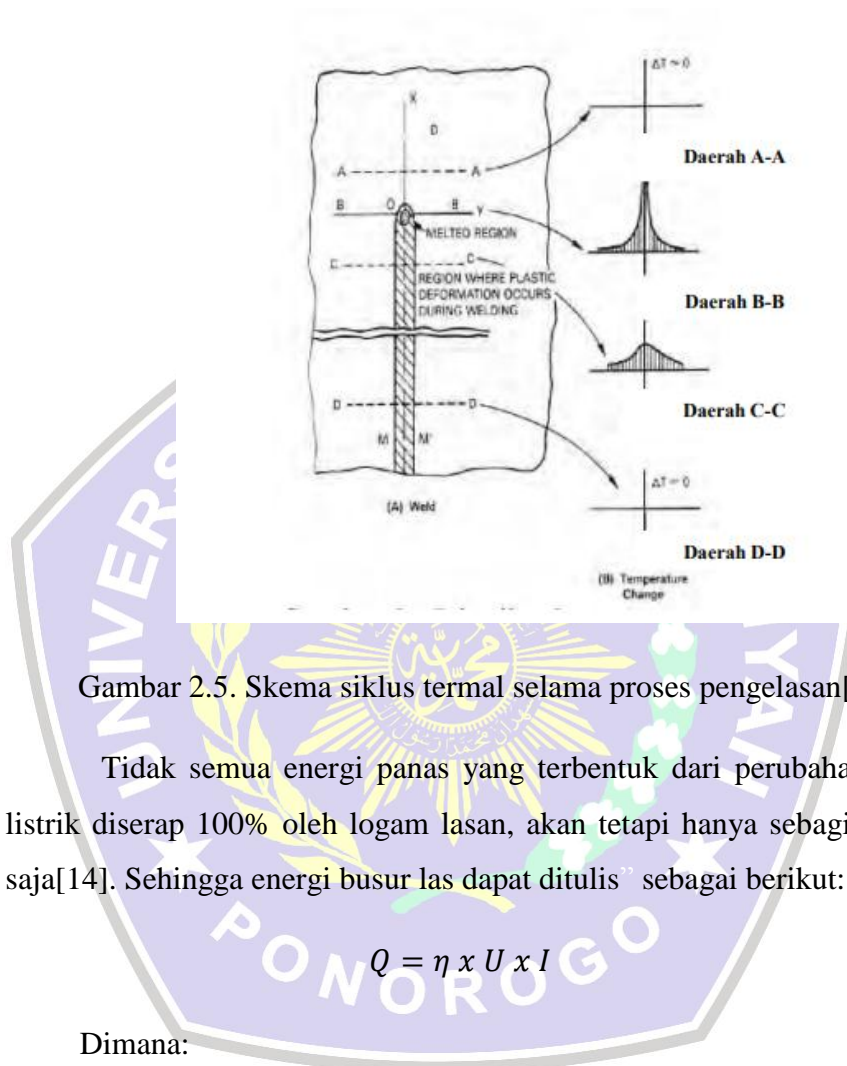
Pada proses pengelasan, daerah yang mengalami kontak langsung dengan busur las memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah di dekatnya. Karena sifat konduksi logam, panas mulai mengalir ke sekitar daerah pengelasan yang mempunyai temperatur lebih rendah sehingga terjadi distribusi panas ke daerah sekitar alur las.

Menurut Wiryosumarto, Distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Distribusi yang tidak merata ini terjadi baik dalam hal tempatnya pada material maupun bila ditinjau dari segi waktu terjadinya [1]. Distribusi temperatur tersebut dapat didiskripsikan dengan membagi daerah lasan menjadi beberapa buah potongan melintang seperti pada Gambar 2.5.

- A-A = Daerah yang belum tersentuh panas dari busur las
- B-B = Daerah yang mencair tepat pada busur las

- C-C = Daerah terjadinya deformasi plastis selama proses pengelasan

- D-D = Daerah yang sudah mengalami pendinginan.



Gambar 2.5. Skema siklus termal selama proses pengelasan[1].

Tidak semua energi panas yang terbentuk dari perubahan energi listrik diserap 100% oleh logam lasan, akan tetapi hanya sebagian besar saja[14]. Sehingga energi busur las dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = \eta \times U \times I \quad (2.1)$$

Dimana:

$Q$  = Heat input bersih (Watt)

$\eta$  = Koefisien efisiensi pengelasan (-)

$U$  = Tegangan Busur (Volt)

$I$  = Arus listrik (Ampere)

Sumber: Pilipenko[14]

Nilai koefisien efisiensi pengelasan akan berbeda untuk setiap jenis pengelasannya, seperti yang terlihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4. Nilai koefisien efisiensi pengelasan[14]**

Jenis Pengelasan	$\eta$
SAW – steel	0,91 – 0,99
SMAW – Steel	0,66 – 0,85
GMAW – $CO_2$ ; Steel	0,75 – 0,93
GMAW – Ar ; Steel	0,66 – 0,77
GTAW – Ar ; Steel	0,25 – 0,75
GTAW – He ; Al	0,50 – 0,80
GTAW – Ar ; Al	0,22 – 0,46

Pada suatu material yang mengalami proses pemanasan dengan gradien suhu yang tajam antara suhu mula mula material dengan suhu pemanasan las, maka akan membentuk distribusi panas hingga keseluruhan bagian material. “Secara umum perpindahan panas atau *Heat Transfer* ada 2 yaitu konduksi dan konveksi. Distribusi panas secara konduksi pada saat pengelasan ialah dimana pada saat panas dari las mengenai logam induk dan panas tersebut menyebar ke seluruh bagian logam secara merata [17]. Berikut Persamaan dasar konduksi panas:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = Q_G + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (2.2)$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis (Kg/m<sup>3</sup>)

$c$  = *specific heat* (J/Kg.k)

$\lambda$  = konduktivitas termal (W/m.K)

$Q_G$  = debit perubahan temperatur (W/m<sup>3</sup>)

Sumber: Pilipenko[14]

Sedangkan konveksi merupakan perpindahan panas disertai dengan perpindahan partikel, pada umumnya terjadi pada fluida (cairan dan gas). Pada proses pengelasan, distribusi panas secara konveksi terjadi dengan udara luar di sekitar proses pengelasan terjadi. Persamaan *heat transfer* secara konveksi diperoleh dari persamaan hukum pendinginan Newton, Sehingga persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$q_h = h (T - T_{\infty}) \dots \dots \dots 2.3$$

Dimana:

$q_h$  = Aliran panas secara konveksi (kW/m<sup>2</sup>)

$h$  = Koefisien konveksi (kW/m<sup>2</sup>°C)

$T$  = Temperatur pada permukaan solid (°C)

$T_{\infty}$  = Temperatur fluida pengelasan (°C)

Sumber: D.L Logan[18]

Pada proses pengelasan terdapat istilah *heat flux* dimana merupakan laju perpindahan energi panas pada suatu permukaan per-satuan waktu. *Heat flux* dapat mempengaruhi transfer panas pada distribusi temperature saat pengelasan, dapat dihitung dengan persamaan (mahrlein:1999):

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \dots \dots \dots 2.4$$

Dimana:

$q_1$  = heat flux pada elemen (J/mm<sup>2</sup>)

$q_e$  = heat flux yang dihasilkan elektroda (J/mm<sup>2</sup>)

$A_1$  = luas permukaan elemen ( $\text{mm}^2$ )

$A_f$  = luas fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

Dengan luasan fluks yang dihasilkan elektroda dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_f = b \cdot v \cdot t \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:

$b$  = panjang kaki las (mm)

$v$  = kecepatan penegelasan (mm/s)

$t$  = waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Dengan diperoleh terlebih dahulu rumus  $q_e$  sebagai berikut:

$$q_e = \frac{Q}{A_e} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana:

$Q$  = Heat input bersih (Watt)

$A_e$  = luasan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

Sumber: M.A Nurfitriana[17]

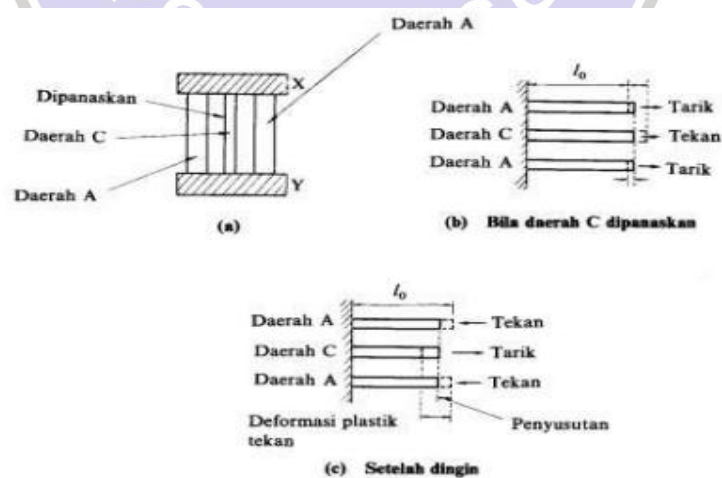
## 2.7 Tegangan Sisa atau *Residual Stress*

Tegangan sisa dapat terjadi pada material yang dikenai perubahan tempertur *non-uniform* atau biasa disebut sebagai tegangan panas. Selama proses produksi, tegangan sisa pada logam dapat terbentuk akibat *roll, casting, forging, bending, grinding, shearing* dan *welding* atau pengelasan. Melalui proses pengelasan, faktor – faktor yang membentuk adanya tegangan sisa antara lain batas transformasi dan batas luluh bahan, suhu pemanasan, kecepatan pendinginan dan pemanasan awal [9].



Pada proses pengelasan suatu material, terjadi siklus pemanasan dan pendinginan yang kompleks di area material yang mengalami pengelasan. Siklus pemanasan dan pendinginan tersebut mengakibatkan adanya peregangan-*thermal* yang bersifat transient atau sementara, sehingga material tersebut mengalami perubahan *thermic* baik ekspansi maupun kontraksi. Ekspansi dan Kontraksi tersebut menimbulkan stress yang tersimpan dalam material tersambung tersebut dan stress itulah yang dinamakan sebagai tegangan sisa atau *Residual Stress*.

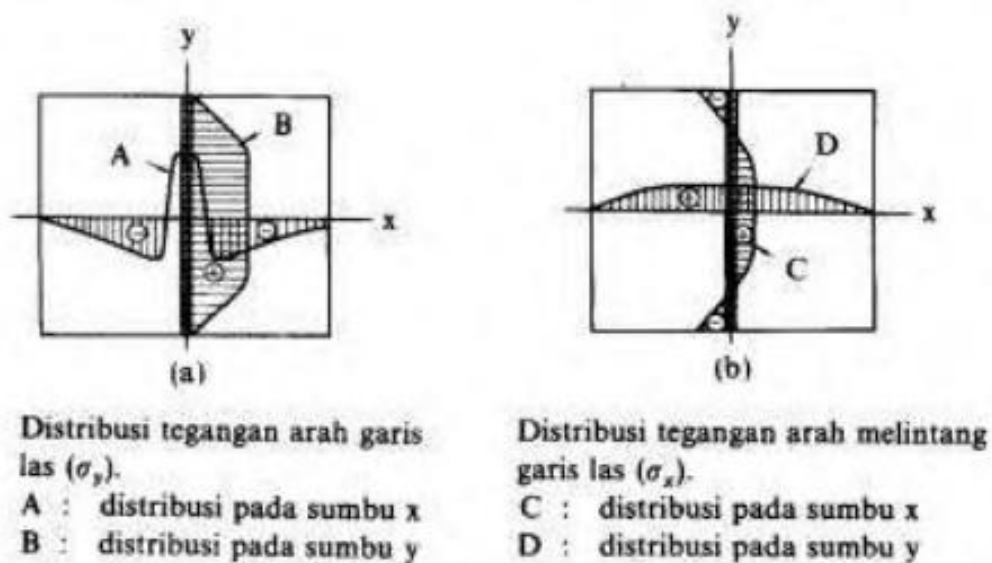
Proses terjadinya tegangan sisa diilustrasikan sesuai dengan gambar 2.6. yaitu daerah C yang mengalami ekspansi pada saat proses pengelasan. Daerah C yang terekspansi mendesak daerah A sehingga daerah C mengalami tegangan tekan dan daerah A mengalami tegangan tarik. Apabila luasan daerah A lebih luas dari pada daerah C, maka daerah C akan mengalami perubahan bentuk secara plastis sedangkan daerah A mengalami perubahan bentuk secara elastis. Memasuki fasa pendinginan yaitu disaat proses pengelasan telah selesai dilakukan, Daerah C akan mengalami penyusutan yang juga teramplifikasi oleh adanya tegangan tekan. Penyusutan pada daerah C akan ditahan oleh daerah A sehingga daerah C akan tegangan tarik dan daerah A akan mengalami tegangan Tekan [1].



Gambar 2.6. Skema terjadinya tegangan sisa pada proses pengelasan [1]

### 2.7.1 Distribusi Tegangan Sisa

Pada material berbentuk pelat dengan pengelasan tumpul, distribusi tegangan sisa material yang dilas bergantung pada jenis dan bentuk pengelasan. Garis pengelasan dengan arah memanjang kekuatan luluh mencapai titik tertinggi di sepanjang garis pengelasan, sedangkan akan mencapai titik mendekati 0 (nol) pada ujung pelat. Garis pengelasan arah melintang akan membentuk kesetimbangan antara tegangan tekan dan tarik[1]. Perbandingan pengelasan yaitu searah garis pengelasan dan melintang diilustrasikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Distribusi Tegangan Sisa Pada Sambungan Tumpul [1]

### 2.7.2 Pengukuran Besarnya Tegangan Sisa

Tegangan sisa dapat dihitung melalui besarnya regangan sisa yang terjadi dengan menggunakan hukum Hooke. Sedangkan besar regangan 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[1]. Untuk tegangan satu arah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana:

$\sigma$  = tegangan sisa yang terjadi (Pa)

$E$  = Modulus elastis (Pa)

$l$  = Panjang batang sebelum dipotong (m)

$\Delta l$  = perubahan sebelum dan sesudah dipotong (m)

Sumber: H. Wiryosumato[1]

### 2.7.3 Pengurangan Tegangan Sisa

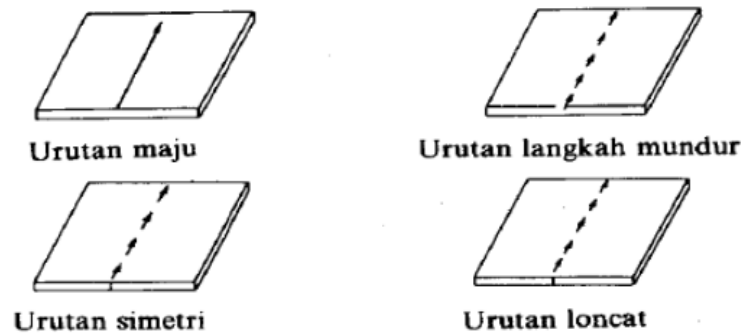
Dalam proses pengelasan, tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan cara mengurangi besarnya heat input dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil *root space* pada las tumpul. Untuk las sudut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las penguat [19]. Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu dihindari terjadinya dengan menentukan urutan pengelasan yang baik.

Beberapa urutan pengelasan yang baik untuk menghindari terjadinya tegangan sisa, diantaranya:

- a) Arah pengelasan urutan maju
- b) Arah pengelasan urutan simetri

c) Arah pengelasan urutan langkah mundur

d) Arah pengelasan urutan loncat

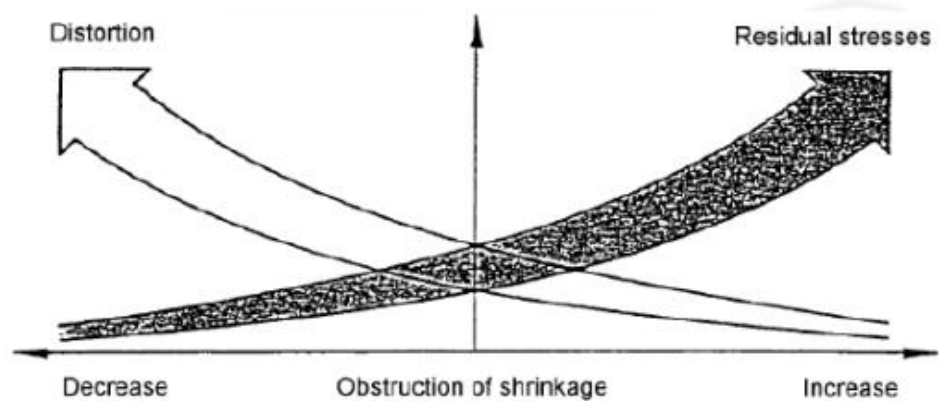


Gambar 2.8. Urutan pengelasan pada pelat [1]

## 2.8 Distorsi

Distorsi merupakan perubahan bentuk geometri material akibat suatu pembebanan. Beban tersebut dapat berbentuk mekanis maupun proses fisika-kimia. Tegangan sisa dan distorsi merupakan suatu hal yang berkaitan erat pada proses pengelasan. Selama pemanasan dan pendinginan yang terjadi dalam siklus pengelasan, regangan *thermal* muncul di antara logam las dan logam induk pada daerah jalur las. Regangan yang dihasilkan selama proses pemanasan disertai pula dengan perubahan plastis. Tegangan yang dihasilkan dari regangan ini yang menghasilkan gaya dalam (*internal forces*) yang menyebabkan terjadinya *bending*, *buckling*, dan rotasi. *Displacement* inilah yang disebut dengan distorsi [9]. Distorsi dan tegangan sisa memiliki hubungan yang saling berkaitan. Hubungan antara tegangan sisa dan distorsi dapat dilihat pada gambar 2.9.





Gambar 2.9. Hubungan antara tegangan sisa dan distorsi [20]

Proses pemanasan dan pendinginan dalam keseluruhan proses pengelasan mengakibatkan adanya regangan antara logam induk (*Base Metal*) dan logam las (*weld metal*). Pergerakan yang terjadi tersebut mengakibatkan adanya tegangan dalam material yang menyebabkan terjadinya *buckling* maupun *bending*. Perubahan bentuk (*buckling* maupun *bending*) inilah yang disebut distorsi. Distorsi dapat terjadi apabila logam las dibiarkan bergerak leluasa selama proses pendinginan, sehingga distorsi terjadi karena adanya pemuaian dan penyusutan yang bebas akibat siklus termal las [19]. Kontrol terhadap distorsi dapat dilakukan melalui 2 cara, yaitu :

- 1) Apabila *Base Metal* ditujukan untuk tidak mengalami distorsi, maka dapat dilakukan *fixturing* namun proses ini akan mengakibatkan adanya *internal stress*
- 2) Apabila *Base Metal* ditujukan untuk mentolerir tingkatan distorsi tertentu hingga bebas sempurna, maka *fixturing* bisa tidak perlu dilakukan.

Bagian ini akan menjelaskan dasar pokok bagaimana terjadinya mekanisme berbagai macam distorsi, faktor apa saja yang berperan, bagaimana menganalisa efek-efek yang terjadi.

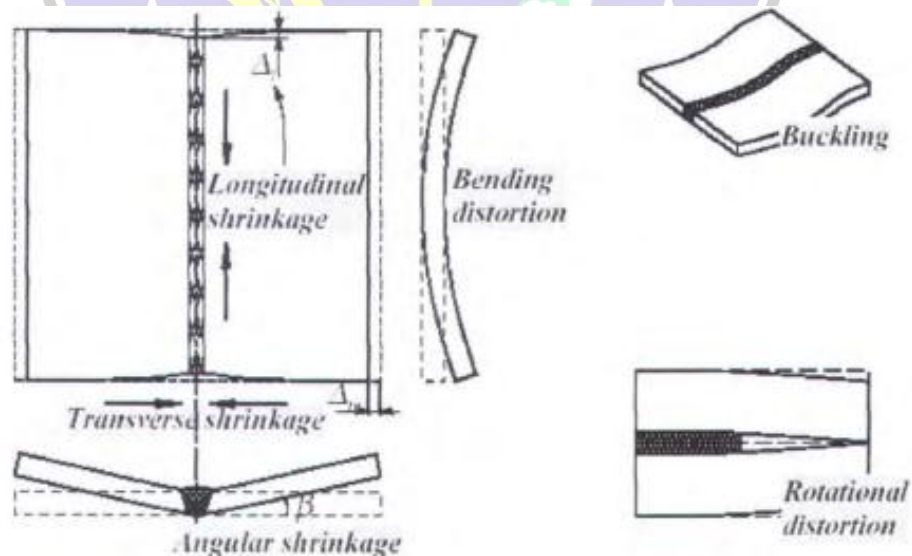


Berikut terdapat 3 perubahan bentuk dasar terjadinya distorsi dalam fabrikasi struktur [6]:

- 1) Penyusutan melintang tegak lurus terhadap arah pengelasan
- 2) Penyusutan memanjang sejajar arah pengelasan
- 3) Distorsi angular (rotasional terhadap jalur las)

Berdasarkan penelitian Pilipenko ada Macam-macam distorsi yang terjadi pada pengelasan antara lain [14]:

- a) *Transverse shrinkage*. Penyusutan tegak lurus terhadap garis las.
- b) *Angular change*. Distribusi panas yang tidak merata pada kedalaman menyebabkan distorsi (perubahan sudut).
- c) *Rotational distortion*. Distorsi sudut dalam bidang pelat yang berkaitan dengan perluasan bidang panas
- d) *Longitudinal shrinkage*. Penyusutan searah garis las.
- e) *Longitudinal bending distortion*. Distorsi dalam bidang yang melalui garis las dan tegak lurus terhadap pelat.
- f) *Buckling distortion*. Kompresi yang berkenaan dengan panas menyebabkan ketidakstabilan ketika pelatnya tipis.



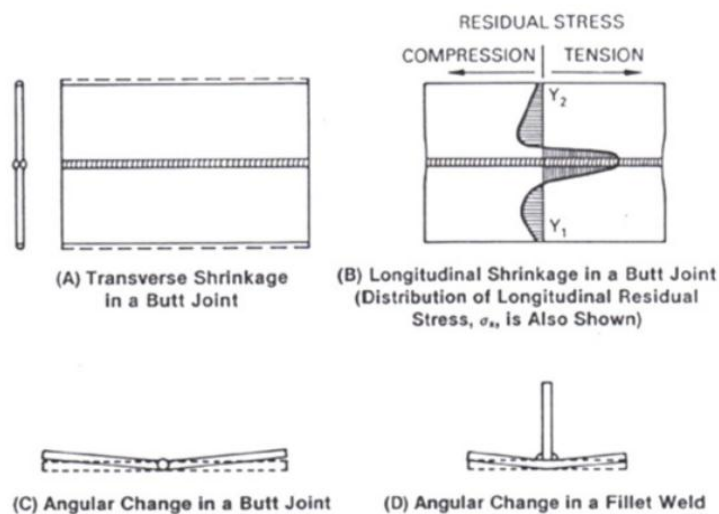
Gambar 2.10. Macam-macam distorsi dalam pengelasan. [14]

Distorsi pada pengelasan sangat merugikan bagi struktur [21], diantaranya:

- a) Dapat mengakibatkan kecacatan pada las yang dapat berdampak pada kekuatan las tersebut.
- b) Bentuk tidak sesuai dengan rancangan awal.
- c) Terjadi *misalignment*, tidak lurusnya kedua poros logam las.

Ada tiga perubahan dimensi yang mendasar akibat proses pengelasan yang dapat dengan mudah memahami mekanisme distorsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 yaitu sebagai berikut:

- a) Penyusutan arah melintang (*transverse shrinkage*), Gambar 2.10 A adalah penyusutan tegak lurus terhadap garis las.
- b) Penyusutan arah memanjang (*longitudinal shrinkage*), Gambar 2.10 B, adalah penyusutan sejajar ke garis las.
- c) Perubahan sudut, pada pengelasan *fillet*, *butt joint* dan *T joint*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 C dan 2.10 D
- d) deformasi terjadi dalam bentuk rotasi disekitar daerah lasan. Hal ini terjadi ketika distribusi *thermal* yang tidak merata dalam arah ketebalan



Gambar 2.11 Tiga perubahan dasar selama proses pengelasan [20]

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelasan agar distorsi dapat dihindarkan [15]:

- 1) *welding sequence* = melakukan urutan pengelasan dengan aturan tertentu sesuai dengan perilaku material.
- 2) Derajat pengeangan = menentukan seberapa besar tahanan untuk mempertahankan material tetap dalam posisinya (*ballasting*, atau dengan berat sendiri).
- 3) Kondisi pengelasan = suhu *pre-heat* atau *interpass* serta keadaan lingkungan
- 4) Detail sambungan = bentuk geometri sambungan lasan dan jenis sambungan mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi.

## 2.9 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik untuk memperhitungkan persamaan differential dengan suatu kondisi batas tertentu. Metode elemen hingga digunakan dengan cara membagi suatu struktur menjadi bagian bagian yang lebih kecil (*meshing*) sehingga perhitungan struktur secara global dapat dihitung melalui reaksi yang terjadi pada tiap-tiap elemen kecil. Dalam *software* komputasi metode elemen hingga seperti ANSYS, material di gambarkan sebagai material 3 Dimensi [22].

Konsep dasar metode elemen hingga adalah pendekatan menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Proses penentuan titik simpul tersebut dinamakan pendeskritan (*discretization*). Usaha pendiskritan ini dilakukan agar memudahkan dalam analisis karena adanya keterbatasan dalam analisis secara global pada bentuk struktur yang rumit [21].

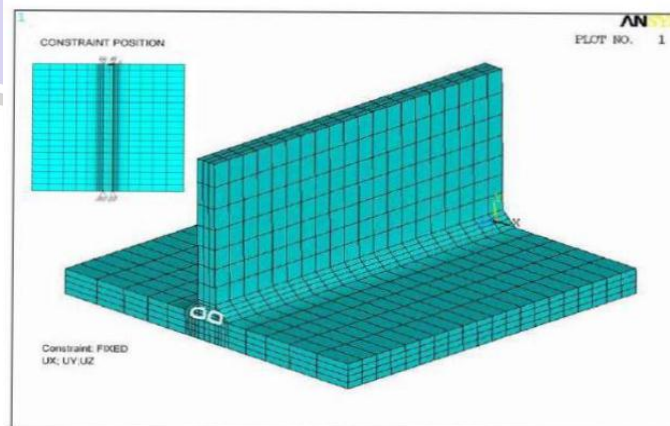
Metode elemen hingga ini banyak digunakan karena hasil analisis sangat dekat atau hampir sama dengan struktur sebenarnya. Namun bukan merupakan persamaan yang dapat diaplikasikan untuk berbagai kasus,

tetapi hasil dari metode elemen hingga ini bersifat numerik,. Selain itu data-data yang dimasukkan cenderung banyak sehingga data output yang dijalankan oleh *software* pun lebih banyak.

### 2.9.1 Pendiskritan dan Pemilihan Jenis Elemen

Pemilihan jenis elemen merupakan “tahap yang dapat menentukan keakuratan hasil analisa baik struktural maupun *thermal*. Jenis elemen dipilih sesuai dengan karakteristik analisa agar dapat menghasilkan perhitungan yang mendekati keadaan sebenarnya. Hasil analisa yang mendekati keadaan sebenarnya juga tergantung dari pendiskritan yang mana dalam pemodelan disebut dengan proses *meshing*. Ukuran yang dipilih ketika proses *meshing* harus mewakili keadaan struktur sebenarnya. Semakin kecil ukuran *meshing* akan membutuhkan kapasitas hardisk dan memori yang cukup besar. Hal ini karena input data *software* semakin banyak sehingga untuk proses akan lebih berat [9].

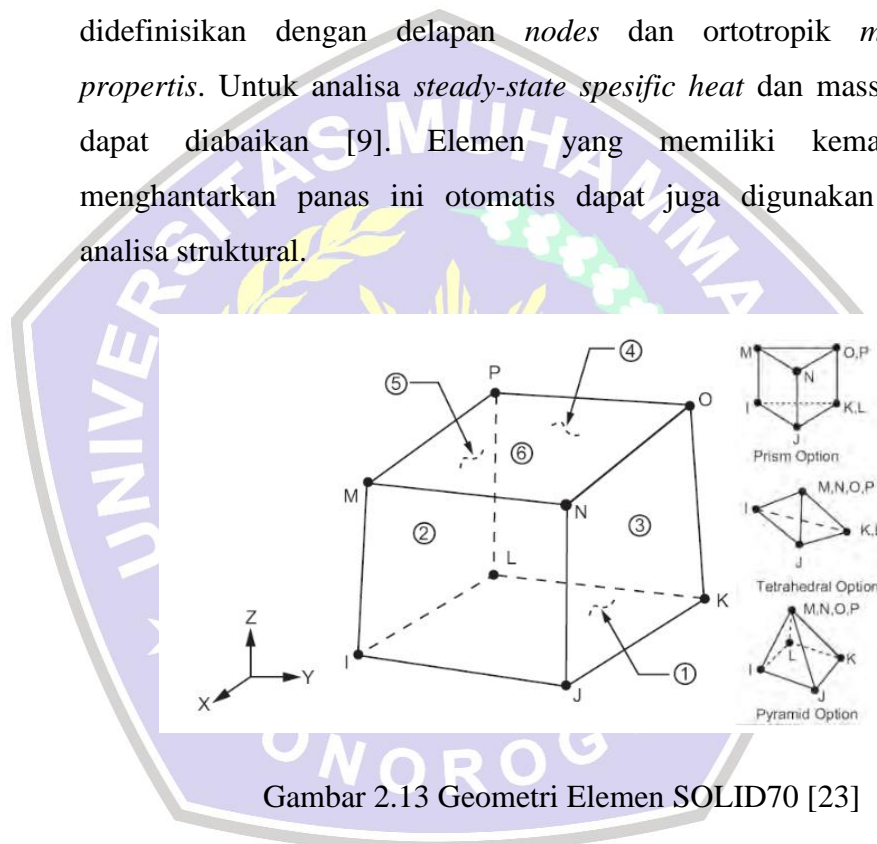
*Meshing* yaitu membagi struktur menjadi beberapa elemen kecil digunakan pada analisa dengan kondisi yang mengalami perubahan drastis. *meshing* ukuran elemen besar digunakan untuk analisa yang perubahannya cenderung konstan [9].



Gambar 2.12 Contoh meshing pada pelat [20]



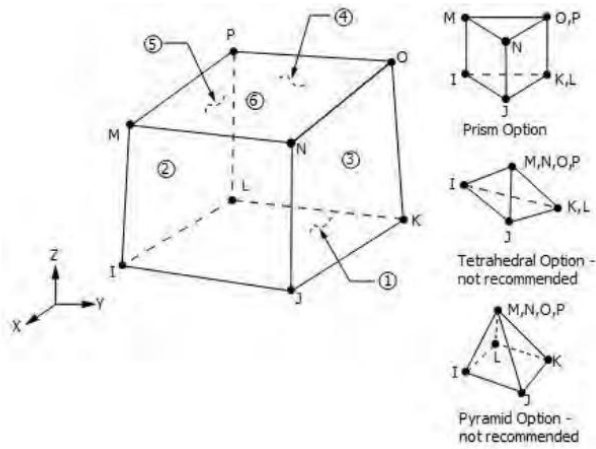
Jenis elemen yang digunakan pada analisa termal adalah SOLID70. Elemen SOLID 70 memiliki delapan node dengan masing-masing *nodes* memiliki satu derajat kebebasan dan temperatur. Bentuk geometri SOLID70 dapat dilihat pada Gambar 2.13. Elemen ini memiliki kemampuan menghantarkan panas sehingga dapat digunakan untuk analisa *termal transient* dan *steady-state*. Elemen SOLID70 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral, dan juga piramida. Elemen ini didefinisikan dengan delapan *nodes* dan ortotropik *material propertis*. Untuk analisa *steady-state specific heat* dan massa jenis dapat diabaikan [9]. Elemen yang memiliki kemampuan menghantarkan panas ini otomatis dapat juga digunakan untuk analisa struktural.



Gambar 2.13 Geometri Elemen SOLID70 [23]

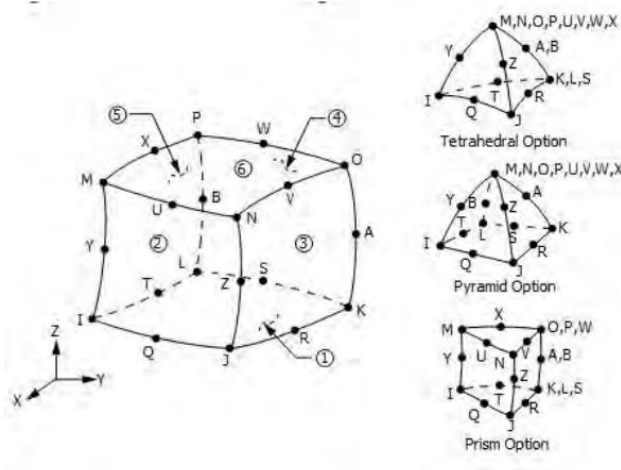
Jenis elemen yang digunakan pada analisis struktural adalah SOLID185 dan SOLID186. Elemen SOLID185 memiliki delapan *nodes* dengan masing-masing *node* memiliki tiga derajat kebebasan seperti pada Gambar 2.15. Elemen ini dapat bertranslasi ke arah sumbu x dan y. Elemen ini memiliki kemampuan plastisitas, elastisitas yang tinggi, defleksi dan regangan yang besar. Elemen SOLID185 dapat membentuk elemen prisma, *tetrahedral*, dan piramida [9].





Gambar 2.14 Geometri Elemen SOLID185 [23]

Sedangkan untuk elemen SOLID186 merupakan elemen solid 3D memiliki 20 *nodes* dimana untuk mengetahui perilaku *displacement*, memiliki kemampuan yang sama dengan SOLID185 dengan perbedaan terletak pada jumlah nodenya yaitu 20 *nodes* dan pada setiap *node* memiliki 3 derajat kebebasan seperti tampak pada Gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.15 Geometri elemen SOLID186 [23]