



**TUGAS AKHIR - MO 141326**

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK PENGARUH VARIASI  
URUTAN PENGELASAN TERHADAP DISTORSI SUDUT PADA  
STRUKTUR PANEL BAJA A36**

Aviciena G. S  
NRP. 04311440000127

**DOSEN PEMBIMBING :**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.**

**Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.**

Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**FINAL PROJECT - MO 141326**

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF THE EFFECT OF  
WELDING SEQUENCE VARIATIONS ON ANGLE DISTORTION ON  
A36 STEEL PANEL STRUCTURE**

Aviciena G. S  
NRP. 04311440000127

Supervisors:

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

Department of Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK PENGARUH VARIASI URUTAN  
PENGELASAN TERHADAP DISTORSI SUDUT PADA STRUKTUR PANEL BAJA A36**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Progran Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi  
Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AVICIENA G. S**  
**NRP. 04311440000127**

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji 1)

4. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 2)

5. Dr. Eng., Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2018

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK PENGARUH VARIASI URUTAN  
PENGELASAN TERHADAP DISTORSI SUDUT PADA STRUKTUR  
PANEL BAJA A36**

**Nama Mahasiswa : Aviciena G.S**  
**NRP : 04311440000127**  
**Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS**  
**Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.**  
**Ir. Handayanu, M.Sc.Ph.D.**

**ABSTRAK**

Luasnya penggunaan teknologi las karena prosesnya lebih sederhana sehingga biaya produksi menjadi lebih murah. Ada lima jenis sambungan dasar pada pengelasan yang biasa diterapkan dalam dunia fabrikasi. Kelima jenis sambungan pengelasan tersebut antara lain, butt joint, lap joint, T-joint, edge joint, dan corner joint. Sambungan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan kondisi material yang dikerjakan. Walaupun proses pengelasan terlihat sangat sederhana, tetapi faktanya banyak masalah yang harus diatasi. Seperti crack yang terjadi dikarenakan tegangan berlebih, distorsi yang terjadi dikarenakan kontraksi logam las selama pengelasan yang mendorong/menarik benda kerja dan sebagainya. Permasalahan yang akan ditinjau dalam tugas akhir ini adalah distorsi sudut akibat tegangan sisa. Tegangan sisa atau residual stress adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya tarik dan tekan akibat terjadinya panas di daerah sekitar kampuh las yang tersebar secara tidak merata yang nantinya akan menimbulkan distorsi. Dalam tugas akhir ini dilakukan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap distorsi sudut. Dengan dilaksanakannya kedua metode ini, diharapkan mendapatkan hasil variasi urutan pengelasan yang lebih efektif. Berdasarkan hasil dari validasi data eksperimen dan permodelan maka variasi urutan pengelasan loncat merupakan urutan pengelasan yang menghasilkan distorsi sudut yang paling minimum.

***Kata Kunci*** - Panel baja A36, distorsi sudut, variasi urutan pengelasan, metode elemen hingga, elemen solid.

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF THE EFFECT OF WELDING  
SEQUENCE VARIATIONS ON ANGLE DISTORTION ON A36 STEEL PANEL  
STRUCTURE**

**Name** : Aviciena G.S  
**NRP** : 04311440000127  
**Department** : Ocean Engineering FTK - ITS  
**Supervisor** : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.  
**Ir. Handayanu, M.Sc.Ph.D.**

**ABSTRACT**

The extent of the use of welding technology is because the process is simpler so that production costs become cheaper. There are five basic types of connections in welding that are commonly applied in the fabrication world. The five types of welding connections include butt joints, lap joints, T-joints, edge joints, and corner joints. The connection has different characteristics according to the condition of the material being worked on. Although the welding process looks very simple, but in fact there are many problems that must be overcome. Like cracks that occur due to overvoltage, distortions that occur due to weld metal contractions during welding that push / pull workpieces and so on. The problem that will be reviewed in this final project is angular distortion due to residual stress. Residual stress or residual stress is the stress that occurs due to tensile and compressive forces due to heat in the area around the weld seam that is spread unevenly which will cause distortion. In this final project an experimental and numerical study was carried out on the effect of variations in welding sequences on angular distortion. With the implementation of these two methods, it is expected to get a more effective variation in the welding sequence. Based on the results of experimental and modeling data validation, variations in jump welding sequences are welding sequences that produce the minimum minimum angle distortion.

**Keywords** - *A36 steel panel, angular distortion, variations in welding sequences, finite element methods, solid elements*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini berjudul **“STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK PENGARUH VARIASI URUTAN PENGELASAN TERHADAP DISTORSI SUDUT PADA STRUKTUR PANEL BAJA A36”**

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat diperlukan bagi penulis sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang teknologi kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Surabaya, Juli 2018

Aviciena G. S

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu serta adik-adik saya yang menjadi motivasi penulis, selalu aktif memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran kegiatan perkuliahan dan pembuatan tugas akhir ini.
2. Bapak Nur Syahroni dan Bapak Handayanu selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa membimbing dan mengarahkan jalannya pengerjaan penelitian ini.
3. Prof. Eko Budi Djatmiko selaku dosen wali penulis selama menempuh studi di Departemen Teknik Kelautan, FTK-ITS.
4. Staff pengajar Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang berkontribusi menyumbangkan ilmunya sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.
5. Sekawan yang senantiasa memberi support, sebagai forum diskusi dan forum gladi bersih sebelum sidang.
6. Keluarga besar Maelstrom P54 L32 Teknik Kelautan 2014 dan FTK P54 yang memberi dukungan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan tepat waktu.
7. Serta semua pihak yang telah turut membantu terselesaikannya penelitian ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dari Allah SWT dan menjadi bekal di masa depan bagi penulis.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat .....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Pengelasan SMAW ( <i>Shielded Metal Arc Welding</i> ) .....	5
2.2.2 Sambungan Las .....	7
2.2.3 Material Baja.....	11
2.2.4 Tegangan Sisa .....	12
2.2.5 Deformasi Pada Pengelasan .....	16
2.2.6 Pengujian Material .....	20
2.2.7 Metode Elemen Hingga.....	20
2.2.8 Analisis <i>Transient Thermal</i> dengan ANSYS <i>Mechanical</i> .....	27
2.2.9 Analisis <i>Transient Structural</i> dengan ANSYS <i>Mechanical</i> ...	29



<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1	Skema Diagram Alir ..... 31
3.2	Penjelasan Diagram Alir ..... 32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1	Parameter Pengelasan..... 37
4.2	Proses Pengelasan ..... 38
4.3	Data Pengukuran Distorsi Sudut ..... 38
4.4	Permodelan Panel Baja A36..... 41
4.4.1	Perhitungan <i>Heat Input</i> ..... 41
4.4.2	Perhitungan <i>Heat Flux</i> ..... 42
4.4.3	<i>Input</i> Hasil Geometri dari SolidWorks ke ANSYS ..... 43
4.4.4	Pengerjaan <i>Transient Thermal</i> ..... 44
4.4.5	Pengerjaan <i>Transient Structural</i> ..... 45
4.4.6	Validasi Hasil Eksperimen dan Permodelan ..... 47
4.4.7	Analisis Hasil ..... 48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1	Kesimpulan ..... 50
5.2	Saran..... 50
	DAFTAR PUSTAKA ..... 51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses SMAW .....	6
Gambar 2.2 Sambungan Tumpul .....	8
Gambar 2.3 Sambungan Bentuk T .....	9
Gambar 2.4 Sambungan Sudut.....	9
Gambar 2.5 Sambungan Tumpang.....	10
Gambar 2.6 Sambungan Sisi .....	11
Gambar 2.7 Pembentukan Tegangan Sisa.....	13
Gambar 2.8 Skema Distribusi Tegangan Sisa.....	14
Gambar 2.9 Hubungan antara tegangan sisa dan distorsi .....	16
Gambar 2.10 Macam-macam distorsi dalam .....	18
Gambar 2.11 Contoh meshing pada plat .....	21
Gambar 2.12 Geometri Elemen SOLID70.....	22
Gambar 2.13 Geometri Elemen SOLID90.....	22
Gambar 2.14 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID185.....	23
Gambar 2.15 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID186.....	23
Gambar 2.16 Massa Titik Termal menggunakan Sifat Isothermal .....	28
Gambar 2.17 Massa Titik Termal menggunakan Sifat Distribusi <i>Heat Flux</i> .....	28
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir .....	31
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir (lanjutan).....	32
Gambar 3.2 Bentuk dan Dimensi Material .....	33
Gambar 3.3 Urutan Pengelasan Lurus .....	33
Gambar 3.4 Urutan Pengelasan Simetri.....	34
Gambar 3.5 Urutan Pengelasan Loncat .....	34
Gambar 3.6 Pengukuran Distorsi .....	35

Gambar 4.1 Hasil Pengelasan Pada Panel Baja A36.....	38
Gambar 4.2 Titik Pengukuran Tampak Atas Pada Panel Baja A36.....	39
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Variasi Urutan Lurus .....	40
Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Variasi Urutan Simetri.....	40
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Variasi Urutan Loncat.....	41
Gambar 4.6 <i>Import Data Geometri</i> dari SolidWorks ke ANSYS .....	43
Gambar 4.7 Hasil Akhir Analisis <i>Transient Thermal</i> Urutan Lurus.....	44
Gambar 4.8 Hasil Akhir Analisis <i>Transient Thermal</i> Urutan Simetri .....	45
Gambar 4.9 Hasil Akhir Analisis <i>Transient Thermal</i> Urutan Loncat.....	45
Gambar 4.10 Hasil Akhir Analisis <i>Transient Structural</i> Urutan Lurus .....	46
Gambar 4.11 Hasil Akhir Analisis <i>Transient Structural</i> Urutan Simetri ....	46
Gambar 4.12 Hasil Akhir Analisis <i>Transient Structural</i> Urutan Loncat .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Urutan Pengelasan .....	20
Tabel 4.1 Data Hasil Pengelasan.....	37
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36 .....	39
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36 (lanjutan).....	40
Tabel 4.3 Perhitungan <i>Heat Input</i> .....	42
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Permodelan Terhadap Distorsi ..	47
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Permodelan Terhadap Distorsi (lanjutan).....	48
Tabel 4.5 Hasil Eksperimen dan Permodelan Terhadap Distorsi .....	48

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin pesat dan 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. Pengelasan merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Dalam pekerjaan suatu proyek konstruksi proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi engineering, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan. Pengelasan merupakan penyambungan dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau tekanan (*pressure*) atau keduanya (Wiryosumarto, 1996).

Luasnya penggunaan teknologi las karena prosesnya lebih sederhana sehingga biaya produksi menjadi lebih murah. Jenis pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah salah satu jenis pengelasan yang banyak digunakan didalam dunia fabrikasi. Ada lima jenis sambungan dasar pada pengelasan yang biasa diterapkan dalam dunia fabrikasi. Kelima jenis sambungan pengelasan tersebut antara lain, *butt joint*, *lap joint*, *T-joint*, *edge joint*, dan *corner joint*. Sambungan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan kondisi material yang dikerjakan. Untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu: *flat* (F), *horizontal* (H), *vertical* (V), dan *overhead* (OH) (ASME section IX, 2013).

Walaupun proses pengelasan terlihat sederhana, tetapi faktanya banyak masalah yang dapat ditimbulkan oleh proses pengelasan. Seperti *crack* yang terjadi dikarenakan tegangan berlebih, distorsi yang terjadi dikarenakan kontraksi logam las selama pengelasan yang mendorong/menarik benda kerja, manik las yang tidak sejajar dikarenakan tangan *welder* ketika melakukan pengelasan tidak stabil dan sebagainya. Tegangan sisa atau *residual stress* adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya tarik dan tekan akibat terjadinya panas di daerah sekitar kampuh las yang tersebar secara tidak merata yang nantinya juga akan menimbulkan distorsi. Distorsi dapat terjadi karena disebabkan panas yang dihasilkan terlalu besar sehingga akan membuat peluang benda kerja yang dilas melengkung atau berubah sudut menjadi besar.

Oleh karena itu di dalam tugas akhir ini dilakukan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap distorsi sudut. Perhitungan numerik dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan eksperimen pada panel baja A36. Hasil dari studi numerik nantinya akan divalidasi dengan eksperimen pengaruh variasi urutan pengelasan pada panel baja A36. Dengan dilaksanakannya kedua metode ini, diharapkan mendapatkan hasil variasi urutan pengelasan yang lebih efektif. Hasil distorsi minimum yang di dapatkan oleh variasi urutan pengelasan akan sangat membantu dan dapat dijadikan suatu acuan dalam melakukan pengelasan panel baja A36.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, perumusan masalah yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa besar perubahan distorsi *angular* akibat pengaruh variasi urutan pengelasan pada panel baja A36 dengan menggunakan perhitungan numerik dan eksperimen ?
2. Variasi urutan pengelasan manakah yang menghasilkan distorsi paling minimum ?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan yang akan dicapai penulis dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Melakukan analisa perhitungan numerik dan studi eksperimen perubahan distorsi *angular* akibat variasi urutan pengelasan pada panel baja A36.
2. Menentukan variasi urutan pengelasan pada panel baja A36 yang menghasilkan distorsi paling minimum.

## **1.4 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan pengetahuan tentang hasil yang paling efektif dari variasi urutan pengelasan yang mempengaruhi terjadinya *angular distortion* dalam pengelasan panel baja A36. Setelah mendapatkan hasil analisis, diharapkan penelitian ini dapat dijadikan suatu acuan dalam melakukan pengelasan panel baja A36.

## **1.5 Batasan Masalah**

1. Material yang digunakan adalah 3 buah panel baja A36.
2. Metode pengelasan menggunakan metode SMAW.

3. Dimensi material 200 x 200 x 10 mm, 200 x 50mm x 10 mm dan 200 x 50mm x 10 mm.
4. Posisi pengelasan adalah 2F dengan jenis sambungan *T-joint*.
5. Parameter yang dirubah adalah urutan pengelasan.
6. Pengukuran perubahan distorsi dilakukan dengan pengukuran perubahan distorsi sudut (*angular distortion*).
7. Pengukuran distorsi diperoleh dari hasil pengelasan dengan dilihat secara visual untuk melihat kerusakan baja.
8. Cacat pada material saat las diabaikan.
9. Permodelan menggunakan *software* berbasis permodelan geometri 3D Solid dan analisis menggunakan *software* berbasis elemen hingga.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Las merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat diperlas lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wirjosumarto dan Okumura, 1996). Walaupun pengelasan sangatlah populer untuk digunakan menyambung material, pengelasan memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah terjadinya perubahan struktur akibat energi panas seperti tegangan sisa dan distorsi. Oleh karena itu perubahan struktur pada proses pengelasan telah diteliti oleh banyak pihak. Penggunaan metode yang bermacam-macam juga dilakukan untuk mengurangi efek dari tegangan sisa dan distorsi.

Panas yang bersumber dari busur las menghasilkan siklus panas yang kompleks dalam pengelasan, dan hal ini menyebabkan perubahan-perubahan mikrostruktur pada HAZ yang memicu tegangan panas sementara dan pergerakan metal yang akhirnya menghasilkan tegangan sisa dan distorsi material. Distorsi ialah perubahan bentuk atau penyimpangan bentuk yang diakibatkan oleh panas. Pemuaian dan penyusutan benda kerja akan berakibat melengkungnya atau tertariknya bagian-bagian benda kerja sekitar pengelasan. Dalam proses pengelasan ada tiga komponen yang berhubungan yaitu, thermal, transformasi fasa, dan fenomena mekanik. Karena kompleksitas interaksi dari tiga komponen yang berhubungan ini, beberapa peneliti cenderung mempertimbangkan *thermomechanical coupling* (Bang dkk., 2002) tetapi untuk beberapa situasi fase transformasi juga perlu diperhatikan (Zacharia dkk, 1995).

Penelitian yang dilakukan oleh Mega Ayu Nurfitriana (2016) berjudul “Analisa Pengaruh pengelasan SMAW dan FCAW-SS Pada Material *Low Carbon Steel Grade S355J2+N* Terhadap Perubahan Distorsi Dengan Variasi *Heat Input* Dengan Menggunakan Metode Eksperimen dan Metode Numerik” Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis eksperimen dengan variasi arus las yang mengakibatkan perbedaan masukan panas. Kemudian dilakukan pengujian makroetsa dan pengukuran perubahan distorsi sudut. Analisis selanjutnya melakukan permodelan numerik dengan *software* berbasis elemen hingga, dengan menggunakan data dari eksperimen sebagai validasi. Beban yang dikenakan

pada model berupa *heat flux* pada setiap luasan elemen. Permodelan numerik akan menghasilkan *output* berupa perubahan suhu sepanjang waktu pengelasan hingga pendinginan pada analisis *thermal* dan perubahan distorsi pada analisis structural. Hasil analisis structural yang diperoleh dari permodelan berupa perubahan distorsi akan di validasi dengan hasil perubahan distorsi sudut pada eksperimen. Dari hasil validasi diperoleh pendekatan antara pengujian eksperimen dengan numerik, kemudian akan diperoleh nilai perubahan distorsi paling minimum.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Baitul Obbi Bachri Wibisono (2016) yang berjudul “Analisa Tegangan Sisa Pada Panel Plat Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Jenis Elemen Solid Dan Elemen Shell”. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi pengelasan pada plat berpenegar dengan elemen jenis solid dan elemen jenis shell. Dimana pada elemen jenis solid digunakan pemodelan 3D sedangkan elemen jenis shell menggunakan pemodelan 2D atau area. Analisis numerik dilakukan dengan menggunakan *software* metode elemen hingga. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengelasan sambungan panel plat *deck platform fillet weld-joint* untuk mendapatkan distribusi panas pada sambungan yang terjadi. Didapatkan hasil *temperature* puncak pada elemen solid sebesar 2256,64 K dan elemen shell sebesar 2554,02 K. Setelah simulasi pengelasan dilanjutkan simulasi tegangan sisa dan hasil distorsi pada sambungan *fillet weld joint*. Didapatkan tegangan tarik maksimum elemen solid sebesar 380,46 Mpa dan tegangan tekan maksimum -143,54 Mpa sedangkan tegangan tarik maksimum elemen shell sebesar 421,85 Mpa dan tegangan tekan maksimum sebesar -102,36 Mpa. Simulasi dilakukan dengan *software* ANSYS Mechanical APDL 16.2. Penelitian ini akan membandingkan tegangan sisa yang terjadi berdasarkan *running time*. Hasil dari *running time* bahwa elemen solid membutuhkan waktu total 2 Jam 13 Menit sedangkan elemen shell membutuhkan waktu total 21 Menit. Penelitian ini menunjukkan bahwa elemen shell memiliki *running time* paling cepat dengan keakuratan yang tidak terlalu jauh dibandingkan dengan elemen solid.

## **2.2 Dasar Teori**

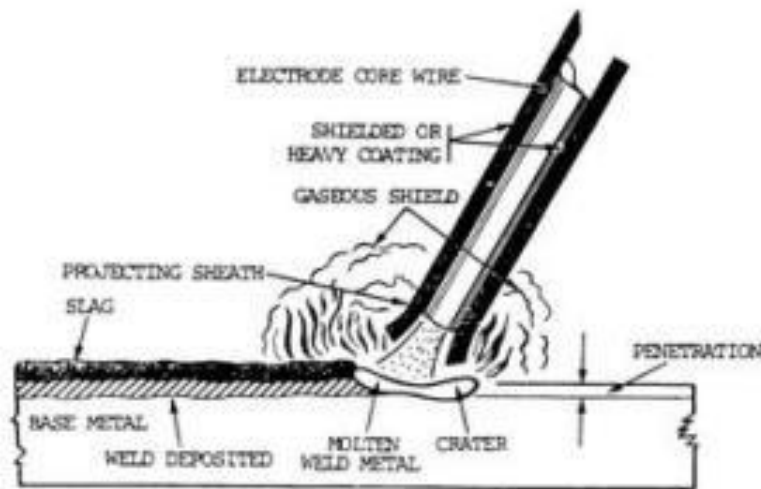
### **2.2.1 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)**

Proses pengelasan (*welding*) merupakan salah satu proses penyambungan material (*material joining*). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (*American Welding Society*), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material



yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda). SMAW merupakan pekerjaan manual dengan peralatan meliputi *power source*, kabel elektroda (*electrode cable*), kabel kerja (*work cable*), *electrode holder*, *work clamp*, dan elektroda. Rangkaian dimulai dengan sumber daya listrik dan kabel termasuk pengelasan, pemegang elektroda, sambungan benda kerja, benda kerja (*Weldment*), dan elektroda las. Salah satu dari dua kabel dari sumber listrik terpasang ke *power source*, selebihnya melekat pada pemegang elektroda. Visualisasi pengelasan SMAW dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Proses SMAW (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

Sebagaimana dalam AWS (*American Welding Society*), prinsip dari SMAW adalah menggunakan panas dari busur untuk mencairkan logam dasar dan ujung sebuah *consumable* elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23-45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 ampere yang umum digunakan berkisar antara 80–200 ampere. Dimana dalam proses SMAW dapat terjadi oksidasi, hal ini perlu dicegah karena

oksidasi metal merupakan senyawa yang tidak mempunyai kekuatan mekanis. Adapun untuk mencegah hal tersebut maka bahan penambah las dilindungi dengan selapis zat pelindung yang disebut flux atau slag yang ikut mencair ketika pengelasan. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan metal yang dicairkan, cairan flux akan mengapung diatas cairan metal, sekaligus mengisolasi metal tersebut sehingga tidak beroksidasi dengan udara luar. Sewaktu membeku, flux akan ikut membeku dan tetap melindungi metal dari reaksi oksidasi.

Pada pengelasan dengan metode SMAW, pengelasan dimulai saat sebuah busur listrik dipukul dengan membuat kontak antara ujung elektroda dan sistem kerja. Panas intens busur mencairkan ujung elektroda dan permukaan kerja dekat dengan busur. Gelembung-gelembung kecil logam cair dengan cepat terbentuk di ujung elektroda, kemudian ditransfer melalui sungai busur ke dalam kolam las cair. Dengan cara ini, logam pengisi disimpan sebagai elektroda yang dikonsumsi. Busur digerakan sesuai dengan panjang system kerja dan kecepatan perjalanan, titik lebur dan sekering sebagian logam dasar dan terus menambahkan logam pengisi. Saat busur menjadi sumber panas dengan suhu di atas 9000 ° F (5000 ° C), pencairan logam dasar terjadi hampir seketika. Jika pengelasan dilakukan baik dalam posisi datar atau horizontal, transfer logam disebabkan oleh gaya gravitasi, ekspansi gas, listrik dan kekuatan elektromagnetik, dan tegangan permukaan.

### **2.2.2 Sambungan Las**

#### **a. Sambungan Tumpul**

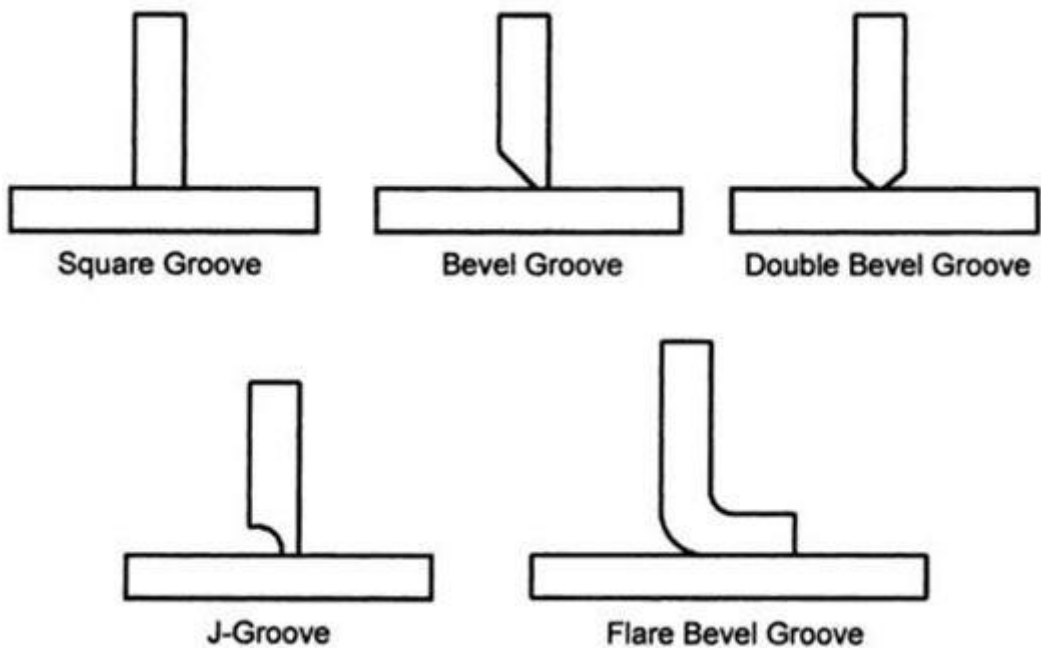
Sambungan tumpul adalah jenis sambunganyang paling efisien, sambungan ini dibagi lagi dalam dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi menjadi sambungan tanpa pelat pembantu yang masih dibagi lagi dalam pelat pembantu yang turut menjadi bagian dari kontruksi dan pelat pembantu yang hanya sebagai penolong pada waktu proses pengelasan saja. Macam sambungan tumpul dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

**Gambar 2.2** Sambungan Tumpul (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

b. Sambungan bentuk T

Pada kedua sambungan ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut, hal-hal yang dijelaskan untuk sambungan tumpul diatas juga berlaku untuk sambungan jenis ini, dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalngi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur, seperti pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Sambungan Bentuk T (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

c. Sambungan Sudut

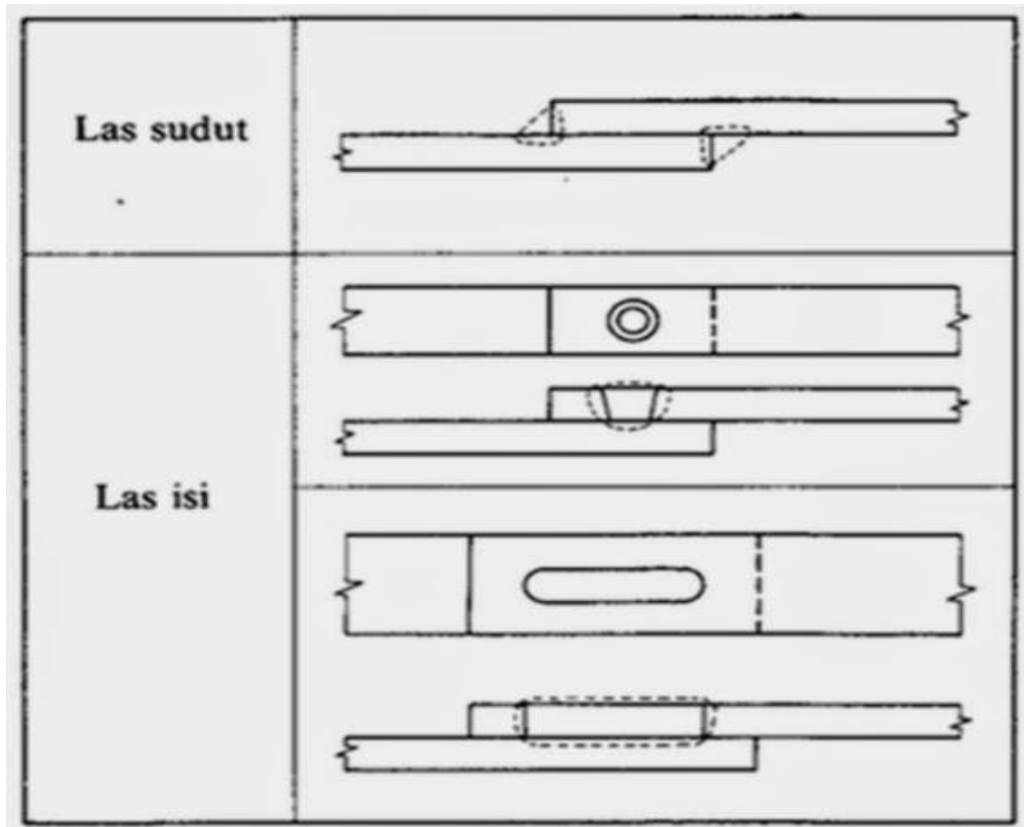
Dalam sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel, hal ini dapat dihindari dengan membuat alur pada pelat tegak seperti yang terlihat dalam pengelasan yang tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu, seperti pada Gambar 2.4.

Lasan dengan alur	Lasan penetrasi penuh								
	Lasan penetrasi sebagian								
Gabungan lasan dengan alur dan las sudut									
Las sudut									

**Gambar 2.4** Sambungan Sudut (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

d. Sambungan Tumpang

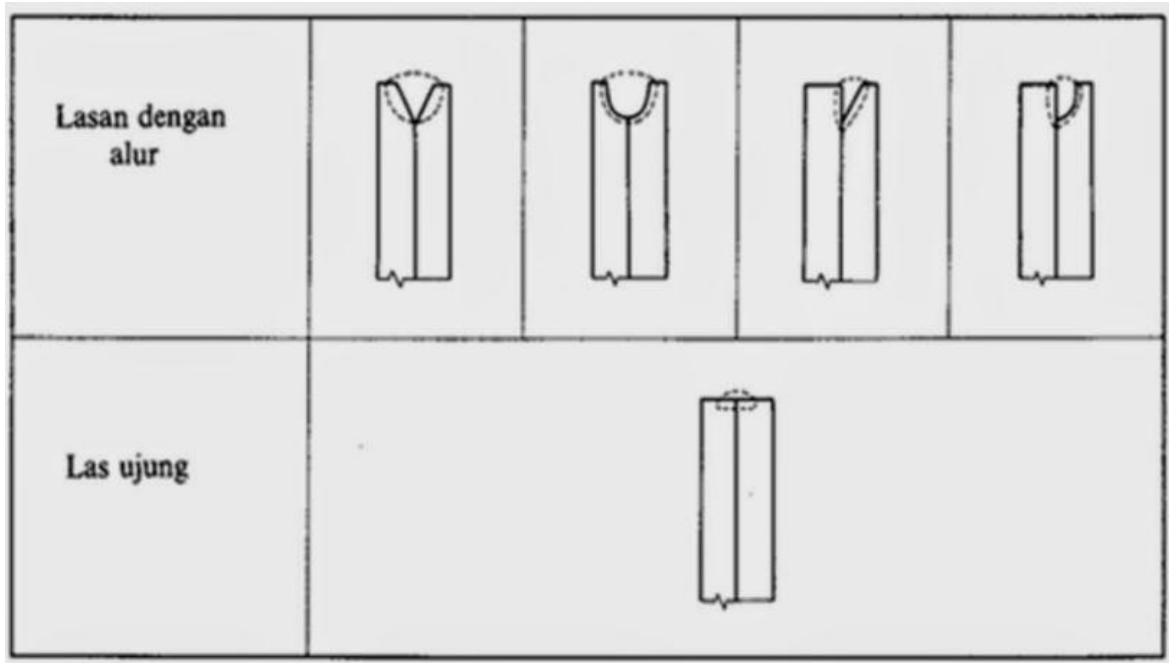
Sambungan tumpang dibagi dalam 3 jenis. Karena sambungan ini efisiensinya rendah maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut, dan las isi, seperti pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Sambungan Tumpang (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

e. Sambungan Sisi

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama pada pelatnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis kedua pengelasan dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur. Jenis kedua ini biasanya hasilnya kurang memuaskan kecuali bila pengelasannya dilakukan dalam posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi, seperti pada Gambar 2.6



**Gambar 2.6** Sambungan Sisi (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

### 2.2.3 Material Baja

Baja merupakan material campuran dengan komponen utama besi (Fe) dengan tambahan karbon (C) dan sebagian kecil senyawa lainnya, variasi properti baja (kekuatan dan daktilitas) ditentukan oleh komposisi kimiawi dari sejumlah komponen pembentukannya. Pembentukan komposisi dari senyawa karbon ini akan memberikan kontribusi dalam peningkatan nilai kekuatan dan menurunkan sifat daktilitasnya.

Berdasarkan kadar komponen kimiawi tersebut maka ketentuan ASTM secara umum mengklasifikasikan material baja dalam 5 jenis, yaitu:

1. *Carbon Steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 33 s/d 36 ksi (228 dan 248 Mpa) yaitu dengan kategori baja yang klasifikasinya berdasarkan pada presentase karbon. *Carbon Steel* terbagi menjadi empat kategori yaitu *low carbon* (kurang dari 0,15%), *mild carbon* (antara 0,15%-0,29%), *medium carbon* (antara 0,3%-0,59%), dan *high carbon* (antara 0,6%-1,7%). Tipe yang umum digunakan adalah grade A36 dan Fe37 dengan tegangan leleh nominal  $f_y=250$  Mpa.
2. *High strength steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 42-50 ksi (290 dan 345 Mpa). Yang termasuk tipe ini adalah A588.

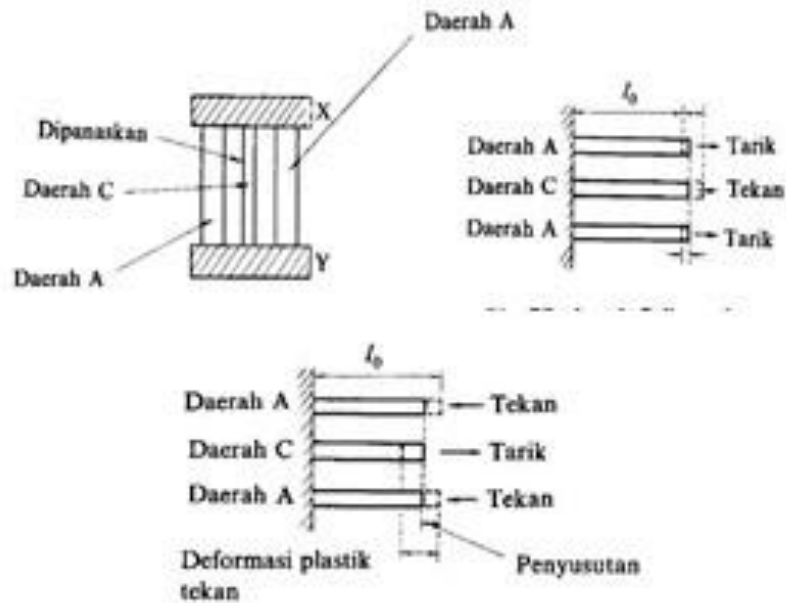
3. *High strength Low-Alloy Steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 40-65 ksi (278 dan 448 Mpa). Yang termasuk tipe ini adalah A242, A441 Fe52, dsb
4. *Quenched and Tempered carbon steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 50-60 ksi (345 dan 414 Mpa). Yang termasuk tipe ini adalah A537
5. *Alloy Steel*, dengan tegangan leleh berkisar antara 90-100 ksi (621 dan 689 Mpa). Yang termasuk tipe ini adalah A514 dan A517.

Kandungan komposisi kimia untuk ASTM A36 C 0,26, Si 0,40, P 0,040, Cu 0,2, untuk sifat material A36 sama dengan kandungan material pada EH36.

#### **2.2.4 Tegangan Sisa**

Tegangan yang muncul pada material selama proses pengerjaan biasa disebut tegangan dalam, tegangan sisa atau tegangan yang terjebak dalam material, proses pengerjaan ini bisa berupa proses pemotongan, bending maupun pengelasan. Tegangan dalam atau tegangan sisa adalah tegangan yang bekerja pada material meskipun tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda tersebut dan tegangan ini bersifat tetap selama tidak ada proses *stress relieving*. Tegangan sisa yang terjadi dalam suatu benda yang diakibatkan oleh distribusi temperatur yang tidak merata, seperti ketika pengelasan, sering disebut juga tegangan termal.

Tegangan sisa dan perubahan bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tegangan sisa seperti proses penyusutan, proses pendinginan yang cepat, dan *transformation phase*. Volum yang dipanaskan akan mengalami penyusutan selama proses pendinginan berdasarkan koefisien ekspansi termal material dan perbedaan temperatur yang ada. Volum yang mengalami peleburan tidak memberikan gaya kepada volume sekitar, sehingga sambungan las dan volum logam yang tidak meleleh selama proses pengelasan memiliki suhu berbeda dan tegangan sisa terjadi. Pembentukan tegangan sisa dapat dilihat dalam Gambar 2.7.

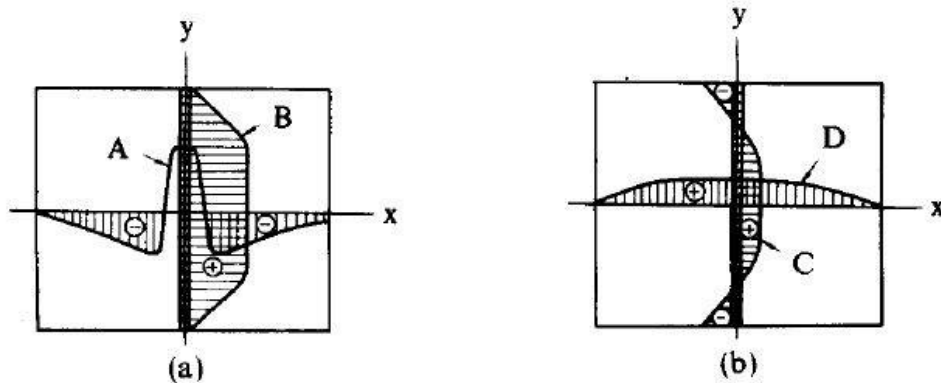


**Gambar 2.7** Pembentukan Tegangan Sisa (Wiryosumarto, 2010)

Pada Gambar 2.7 daerah C mengembang waktu pengelasan dan ditahan oleh daerah A. Sehingga daerah C mengalami tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Jika daerah A lebih luas daripada daerah C, maka daerah C tidak akan mengalami perubahan bentuk dan daerah A mengalami perubahan bentuk elastik. Ketika pengelasan selesai terjadi proses pendinginan, daerah C menyusut cukup besar karena ada pendinginan dan tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, sehingga daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.

Distribusi tegangan sisa tergantung dari jenis dan bentuk las an. Dalam sambungan las bentuk lingkaran akan mengalami distribusi yang sama pada ujung jarak dari pusat. Untuk las tumpul pada garis las an dengan arah memanjang akan mencapai batas kekuatan lulus pada garis las dan kemudian menurun mencapai nol pada ujung pelat. Sedangkan pada arah melintang garis las terjadi keseimbangan antara tegangan tarik dan tekan. Skema distribusi tegangan sisa dapat dilihat dalam Gambar 2.8.





Distribusi tegangan arah garis las ( $\sigma_y$ ).

A : distribusi pada sumbu x  
B : distribusi pada sumbu y

Distribusi tegangan arah melintang garis las ( $\sigma_x$ ).

C : distribusi pada sumbu x  
D : distribusi pada sumbu y

**Gambar 2.8** Skema distribusi tegangan sisa dalam sambungan las tumpul (Wiryosumarto, 2010)

Tegangan sisa dihitung melalui persamaan hubungan antara tegangan-regangan. Menggunakan hukum Hooke tegangan sisa dapat dihitung melalui besarnya regangan sisa yang terjadi. Dari hukum Hooke terlihat bahwa perubahan ukuran benda disebabkan oleh adanya tegangan, karena itu besarnya tegangan dapat dihitung. Dalam hal tegangan satu arah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \quad (2.1)$$

Dimana:

$\sigma$  : tegangan sisa yang terjadi

E : Modulus elastik

l : panjang awal

$\Delta l$  : perubahan panjang awal dan akhir

Dalam hal terjadi tegangan sisa dengan dua dimensi dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) \quad (2.2)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x) \quad (2.3)$$

Dimana:

$\sigma_x$  : tegangan tegak lurus garis las

$\sigma_y$  : tegangan searah garis las

$\varepsilon_x$  : regangan tegak lurus garis las

$\varepsilon_y$  : regangan tegak lurus garis las

$\nu$  : angka pebandingan Poisson

Tegangan sisa dapat diukur dengan cara numerikal dan eksperimental. Untuk cara eksperimental dapat dilakukan dengan teknik pengukuran destruktif dan non-destruktif. Beberapa metode pengukuran tegangan sisa dengan teknik destruktif yaitu:

- Metode *Hole-drilling*
- Metode *Ring-core*
- Metode *Bending deflection*
- Metode *Sectioning*

Sedangkan untuk teknik non-destruktif dilakukan tanpa merusak sample. Cara ini dinilai lebih akurat karena menggunakan bantuan teknologi terkini. Beberapa metode umum yang digunakan untuk metode pengukuran non-destruktif, yaitu:

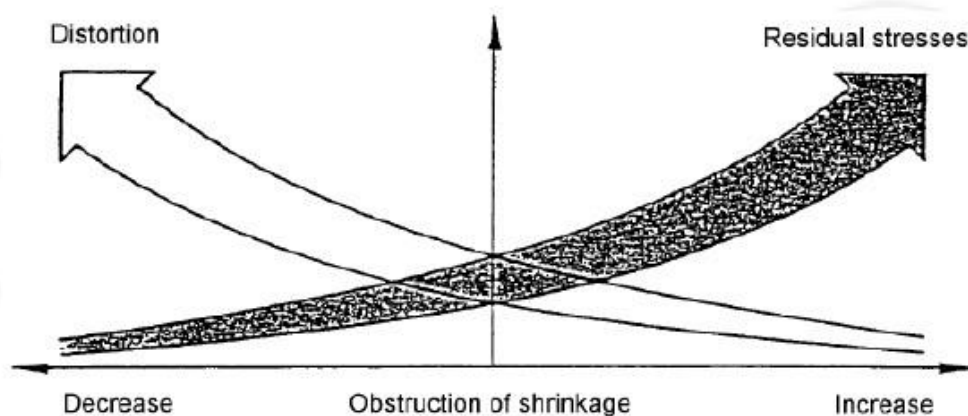
- *X-ray/ neutron/ diffraction*
- *Ultrasonic*
- *Magnetic methods*

Besarnya tegangan sisa dapat dikurangi dengan cara mengurangi masukan panas dan banyaknya logam lasan. Penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu menentukan urutan pengelasan (welding sequence) yang tepat.

### 2.2.5 Deformasi Pada Pengelasan

Deformasi merupakan perubahan pada material, baik perubahan dimensi maupun struktur karena mendapat beban dari luar. Beban bisa berupa beban mekanis maupun proses fisika-kimia. Perubahan yang terjadi pada material dapat berupa pemuaian maupun pengkerutan. Perubahan tersebut dimulai dari perubahan struktur dalam material sebelum akhirnya berdampak pada perubahan dimensi material. Jadi perubahan dimensi tergantung dari perubahan struktur material. Apabila perubahan struktur dari material teratur, maka perubahan dimensi secara umum juga teratur.

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. Hubungan antara tegangan sisa dan distorsi dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Hubungan antara tegangan sisa dan distorsi (Syahroni dan Hidayat, 2012)

Pada struktur logam deformasi terjadi mulai dari struktur kristal yang berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Untuk mengurangi dampak batas butir dan untuk

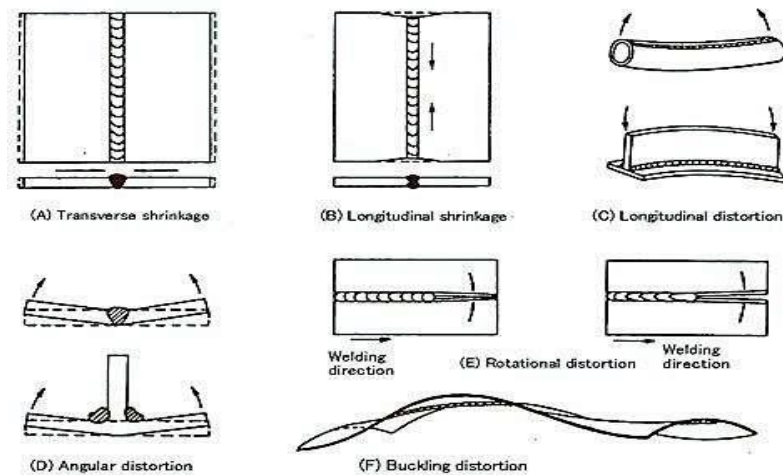
mengurangi kerumitan dalam pembahasan selanjutnya, maka akan mengkhususkan pada pembahasan pada distorsi kristal tunggal. Deformasi pada logam fasa tunggal berdasarkan prosesnya meliputi deformasi elastis dan deformasi plastis.

Deformasi elastis merupakan perubahan yang bersifat tidak tetap. Hal ini karena perubahan yang terjadi pada struktur akan segera kembali ke bentuk semula apabila beban yang bekerja pada struktur dihilangkan. Sehingga deformasi elastis tidak menyebabkan perubahan nyata dalam struktur. Pada saat bekerjanya beban, maka terjadi perpindahan atom secara elastis ke tingkat yang lebih tinggi relatif terhadap yang lain. Karena selain deformasi, bahan menyerap energi akibat gaya yang bekerja sepanjang garis deformasi.

Dalam deformasi elastis regangan sebanding dengan tegangan. Perbandingan antara tegangan dengan regangan material disebut dengan Modulus Elastisitas,  $E$  (Modulus Young). Modulus Elastisitas dapat menjadi karakteristik dari material logam. Semakin besar gaya tarik antar atom logam, maka semakin besar pula modulus elastisitasnya

Apabila tegangan yang bekerja pada material melebihi batas elastisitas, maka deformasi yang timbul adalah deformasi plastis. Batas elastisitas adalah suatu batas dimana tegangan maksimum yang dapat dikenakan tanpa menghasilkan suatu deformasi yang bersifat permanen. Deformasi plastis berkaitan dengan perpindahan atom-atom di dalam butiran dan mengakibatkan perubahan permanen pada bentuk spesimen material. Dimana perubahan ini mengakibatkan distorsi.

Pada proses pengelasan, sambungan pada material menerima beban panas yang tinggi. Distribusi panas yang ditimbulkan tidak merata ke semua bagian. Sehingga suhu pada daerah lasan dan HAZ lebih tinggi dari pada logam induk yang tidak terkena pengaruh panas. Selama proses pendinginan, daerah lasan akan menjadi padat dan menyusut sehingga terjadi tegangan tarik disekitar lasan dan HAZ. Jika tegangan tarik yang dihasilkan melebihi *yield point* dari logam induk, maka hal ini bisa menimbulkan deformasi plastis pada material. Deformasi plastis ini nantinya akan menyebabkan perubahan dimensi dan penyimpangan material. Hal inilah yang disebut dengan distorsi. Faktor yang termasuk dalam masukan panas (*heat input*) dimana masukan panas ditentukan oleh tegangan listrik, aliran listrik, kecepatan pengelasan, serta ukuran dan jenis elektroda, cara pengelasan, suhu pemanasan mula, tebal pelat, geometri sambungan, serta jenis dan jumlah lapisan dari lasan. Macam-macam distorsi dalam pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Macam-macam distorsi dalam pengelasan (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 2007)

Beberapa cara untuk mengurangi distorsi akibat pengelasan antara lain dengan melakukan:

a. Jumlah *welding pass*

Semakin banyak *welding pass* yang digunakan akan meningkatkan resiko terjadinya deformasi.

b. Pengelasan berurutan (*sequence weld*)

Mengelas sambungan yang panjang ada kecenderungan terjadi distorsi yang besar, untuk pencegahannya yaitu dengan melakukan teknik pengelasan berurutan (*sequence-weld*).

c. Derajat pengekanan

Menentukan seberapa besar tahanan untuk mempertahankan material tetap ada posisinya. Penggunaan penahan atau tanggem akan meminimalkan pergerakan atau pergeseran material pada proses pengelasan. Namun pada saat penahan dilepas akan terjadi perubahan deformasi yang relatif kecil karena akibat tegangan sisa.

d. Detail sambungan

Bentuk geometri sambungan lasan dan jenis sambungan mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi. Semakin merata distribusi deposit logam lasan pada kampuh las akan semakin mengurangi timbulnya deformasi khususnya *angular distortion*.

Dalam pengelasan tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan jalan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil celah akar pada las tumpul. Dalam hal las tersebut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat. 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 lurus

Dalam urutan ini pengelasan dimulai dari satu ujung hingga ke ujung lain dari sambungan dan biasanya digunakan pada las lapis tunggal, sambungan pendek dan pengelasan otomatis.

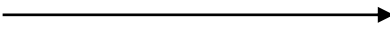

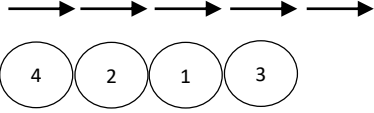
b. Arah pengelasan urutan simetri

Urutan ini dilaksanakan dengan cara membagi panjang sambungan ke dalam bagian-bagian yang sama kemudian pengelasannya dilaksanakan pada bagian-bagian tersebut dengan urutan yang simetris terhadap pusat sambungan.

c. Arah pengelasan urutan loncat

Dalam urutan ini pengelasan loncat dilaksanakan secara berselang pada seluruh panjang sambungan.

**Tabel 2.1** Tabel Urutan Pengelasan (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 2007)

Klasifikasi	Pengelasan	Nama urutan
Klasifikasi berdasarkan arah lasan	1. Dari satu ujung ke ujung yang lain 	Lurus
	2. Dari tengah ke dua ujung 	Simetri
	3. Meloncat 	Loncat

### 2.2.6 Pengujian Material

Pengujian makro ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan atau material. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar seperti logam hasil tuangan dan bahan yang termasuk non-metal.

### 2.2.7 Metode Elemen Hingga

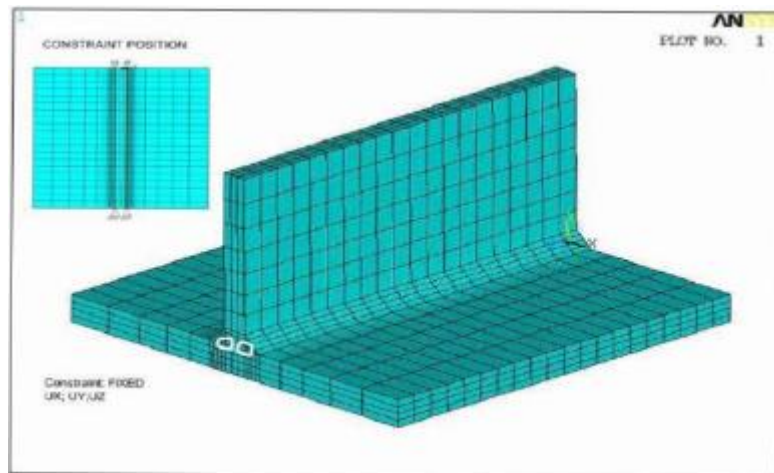
Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Hal ini tidak dapat atau sulit diselesaikan dengan solusi analisa matematis (Logan, 2000). Pendekatan metode elemen hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang disebut pendeskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi menyeluruh.

Secara umum tahapan dalam perumusan metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. Pendiskritan dan Pemilihan Jenis Elemen

Pemilihan jenis elemen merupakan tahap yang sangat penting karena dapat menentukan keakuratan hasil analisa. Jenis elemen harus dipilih sesuai analisa agar dapat menghasilkan hasil analisa 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.

Contoh untuk *meshing* sebuah model dapat dilihat pada Gambar 2.11. *Meshing* untuk ukuran elemen kecil biasanya digunakan untuk analisa dengan kondisi yang mengalami perubahan drastis. Sedangkan untuk *meshing* ukuran elemen besar digunakan untuk analisa yang perubahannya cenderung konstan.



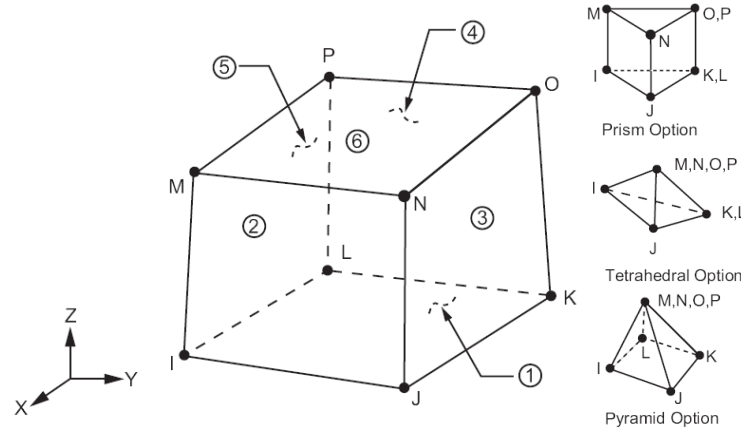
**Gambar 2.11** Contoh meshing pada plat

(Syahroni dan Hidayat, 2012)

Jenis elemen yang digunakan pada analisis termal adalah SOLID70 dan SOLID90. Elemen SOLID70 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki satu derajat kebebasan dan *temperature* seperti pada Gambar 2.12. Elemen ini memiliki kemampuan menghantarkan panas sehingga dapat digunakan untuk analisis termal *transient* dan *steady-state*. Elemen SOLID70 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral, dan juga piramida. Elemen ini didefinisikan dengan

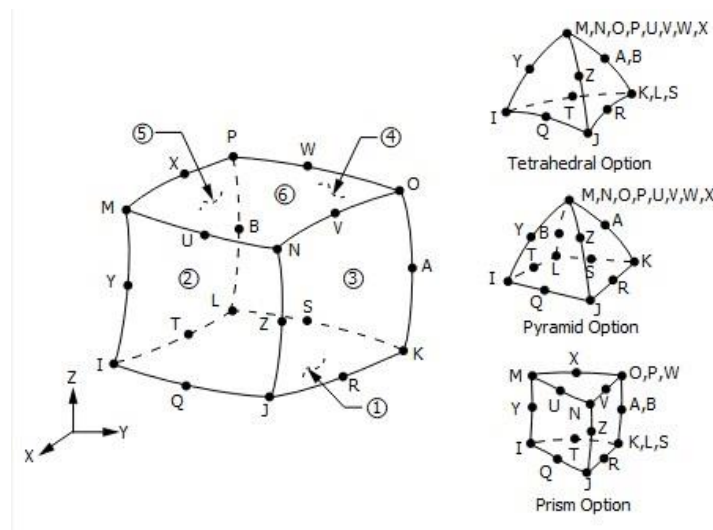


delapan node dan ortotropik material propertis. Untuk analisis *steady-state* specific heat dan massa jenis dapat diabaikan. Elemen yang memiliki kemampuan menghantarkan panas ini otomatis dapat juga digunakan untuk analisis struktural.



**Gambar 2.12** Geometri Elemen SOLID70  
(ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

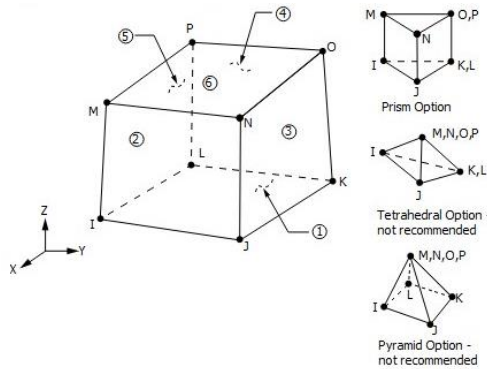
Sedangkan SOLID90 memiliki kemampuan yang sama dengan SOLID70, yang membedakan adalah jumlah node pada SOLID90 sebanyak 20 derajat kebebasan seperti pada Gambar 2.13 berikut.



**Gambar 2.13** Geometri Elemen SOLID90  
(ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

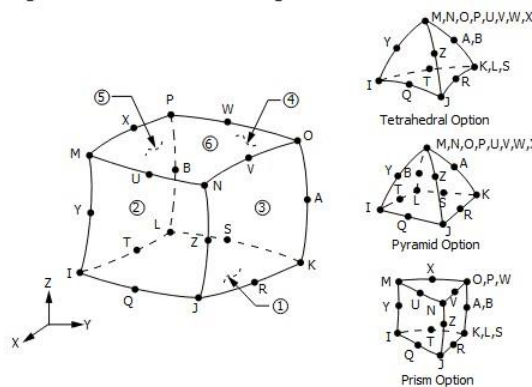
Jenis elemen yang digunakan pada analisis struktural adalah SOLID185 dan SOLID186. Elemen SOLID185 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki tiga derajat kebebasan seperti pada Gambar 2.14. Elemen ini dapat

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.



**Gambar 2.14** Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID185  
(ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

Sedangkan untuk elemen SOLID186 merupakan elemen solid 3D 20 node dimana untuk mengetahui perilaku displacemen, memiliki kemampuan yang sama dengan SOLID185 dengan perbedaan terletak pada jumlah node nya yaitu 20 node, dan pada setiap node memiliki 3 derajat kebebasan seperti tampak pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID186  
(ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

2. Pemilihan fungsi displasemen

Menentukan fungsi displasemen yang didefinisikan pada tiap elemen dengan menggunakan nilai parameter di tiap node elemen. Fungsi yang digunakan adalah fungsi polinomial, linear kuadratik, kubik, atau deret trigonometri.

3. Definisi hubungan regangan-displasmen dan tegangan-regangan

Dapat ditentukan hubungan regangan akibat displasmen yang sudah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hubungan tegangan-regangan nanti akan digunakan dalam proses penurunan persamaan untuk masing-masing elemen.

$$\sigma = D \varepsilon^{el} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon^{el} + \varepsilon^{th} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\varepsilon$  : regangan total

$\varepsilon^{el}$  : regangan elastis

$\varepsilon^{th}$  : regangan termal

$D$  : kekakuan material

*Vector thermal strain* untuk isotropik medium dengan suhu yang tergantung pada koefisien ekspansi termal, dengan rumus:

$$\varepsilon^{th} = \Delta T \alpha(T) \quad (2.6)$$

$\Delta T$  adalah perbedaan antara *reference temperature* dengan *actual temperature*.

4. Penentuan matriks kekakuan elemen dan persamaan elemen

Untuk menentukan matriks kekakuan dan persamaan elemen dapat digunakan metode keseimbangan langsung dan metode energi dengan menggunakan prinsip energi potensial minimum.

$$\delta U = \delta P \quad (2.7)$$

Dimana:

$U$  : *internal strain energy (internal work)*

$P$  : *external work*, seperti efek inersia

$\delta$  : *virtual operator*

*Virtual strain energy* dapat ditulis:

$$\delta = \int [\delta \varepsilon]^T \{\sigma\} d\{V\} \quad (2.8)$$

Dimana:

$\varepsilon$  : vektor regangan

$\sigma$  : vektor tegangan

$V$  : volumen elemen

Substitusi persamaan untuk memperoleh  $\delta U$

$$\delta U = \int (\{\delta \varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} - \{\delta \varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon^{th}\}) dV \quad (2.9)$$

*Strain* yang dikaitkan dengan nodal displasmen:

$$\{\varepsilon\} = [B] \{u\} \quad (2.10)$$

Dimana:

$B$  : Matriks ketegangan displasmen

Untuk displasmen konstan, energi regangan *virtual* adalah:

$$\delta U = \{\delta \varepsilon\}^T \int [B]^T [D] [B] dV \{u\} - \{\delta u\}^T \int [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} dV \quad (2.11)$$

*External work* karena gaya inersia diformulasikan sebagai:

$$\delta P = - \int \{\delta w\}^T \{F^a\} dV \quad (2.12)$$

Dimana,

$w$  : vektor displasmen dari general point

$\{F^a\}$  : vektor *acceleration force*

Berdasarkan hukum gerak Newton II:

$$\{F^a\} = \rho \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \{w\} \quad (2.13)$$

Jika displasmen dengan elemen dihubungkan pada nodal displasmen:

$$\{w\} = [N] \{u\} \quad (2.14)$$

Dimana:

$N$  : *Nodal displacement*

Kemudian persamaan dapat ditulis kembali menjadi

$$\delta P = -\{\delta u\}^T \rho \int \{N\}^T [N] dV \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \{u\} \quad (2.15)$$

Lalu melakukan substitusi persamaan, menjadi:

$$\{\delta \varepsilon\}^T \int [B]^T [D] [B] dV \{u\} - \{\delta u\}^T \int [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} dV = -\{\delta u\}^T \rho \int \{N\}^T [N] dV \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \{u\} \quad (2.16)$$

$\{\delta u\}^T$  vektor adalah sebuah displasmen umum yang sebenarnya, sebuah kondisi diperlukan untuk memenuhi persamaan displasmen konstan dikurangi sampai:

$$[K_c] - \{F_c^{th}\} = [M_c] \{\ddot{u}\} \quad (2.17)$$

dimana,

$$[K_c] = \int [B]^T [D] [B] dV \rightarrow \text{Matriks kekakuan elemen} \quad (2.18)$$

$$\{F_c^{th}\} = \int [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} dV \rightarrow \text{Vektor beban termal elemen} \quad (2.19)$$

$$\{M_c\} = \rho \int [N]^T [N] dV \quad (2.20)$$

#### 5. Penggabungan persamaan elemen dengan penentuan kondisi batas

Pada tahap ini akan didapatkan matriks kekakuan global yang bersifat singular. Kondisi batas digunakan untuk menghilangkan singularitasnya. Matriks kekakuan global didapatkan dari menggabungkan persamaan elemen pada tahap empat menggunakan metode kekakuan langsung.

#### 6. Penyelesaian derajat kebebasan yang belum diketahui

Mendapatkan hasil besaran yang diperlukan tetapi tidak didapat secara langsung dari tahap sebelumnya. Dapat dicari dengan metode eliminasi (misalkan metode *gauss*) dan iterasi (misalkan metode *gauss-siedel*).

#### 7. Penentuan regangan dan tegangan elemen

Perhitungan regangan dan tegangan yang terjadi pada elemen berdasarkan hasil dari tahap enam.

#### 8. Penampilan hasil

Hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk grafis sehingga akan mempermudah pembacaan hasil.

### **2.2.8 Analisis *Transient Thermal* dengan ANSYS *Mechanical***

Analisis *transient thermal* memiliki fungsi untuk menentukan suhu maupun berbagai parameter termal yang memiliki variasi terhadap waktu. Hasil yang akan diperoleh yaitu berupa distribusi suhu (panas) yang mampu memicu terjadinya kegagalan suatu struktur atau material. Hasil analisis *transient thermal* ini dapat digunakan untuk melakukan analisis struktural berkenaan dengan beban-beban apa saja yang terdapat pada struktur atau material analisis.

Analisis *transient thermal* memiliki 2 jenis, yaitu dapat berupa analisis linier ataupun non-linier. Umumnya analisis non-linier terjadi akibat suhu yang sangat bergantung pada properti yang dimiliki material seperti konduktivitas termal, *specific heat*, dan massa jenis, serta suhu yang bergantung pada koefisien konveksi ataupun efek radiasi. Mayoritas material memiliki properti termal yang bervariasi terhadap suhu, oleh karena itu analisis *transient thermal* non-linier seringkali digunakan.

Berikut adalah langkah-langkah umum pengerjaan analisis *transient thermal* berdasarkan ANSYS *Mechanical User's Guide*:

- Memilih jenis analisis, yaitu *transient thermal analysis*. Dalam satu jenis analisis, terdapat satu sistem analisis independen yang merepresentasikan satu jenis analisis tertentu yang memiliki beberapa parameter seperti properti geometri dan model. Beberapa jenis analisis memiliki hasil akhir yang mampu dijadikan bahan dasar untuk melakukan analisis lain, seperti halnya hasil *transient thermal analysis* mampu dijadikan bahan dasar analisis struktural.
- Menetapkan data engineering sesuai jenis analisis yang dipilih. Pada analisis *transient thermal*, data yang harus ditetapkan yaitu konduktivitas termal, massa jenis, dan *specific heat*. Data engineering yang ditetapkan sehubungan dengan properti material dapat berupa linier atau non-linier, konstan atau *temperature-dependent*, serta isotropik atau ortotropik.
- Melampirkan data geometri. ANSYS memiliki keterbatasan berupa ketidakmampuan untuk melakukan permodelan geometri. Oleh karena itu, permodelan geometri harus dilakukan di software permodelan pendukung yang hasilnya mampu diimpor ke ANSYS dengan beberapa ketentuan sesuai dengan jenis analisis yang dilakukan.

Beberapa software permodelan yang hasilnya mampu diimpor ke ANSYS yaitu DesignModeler, CAD, dan SolidWorks.

- Menetapkan parameter jenis analisis. Analisis transient thermal memiliki parameter yang harus ditentukan yaitu massa titik termal (thermal point mass). Massa titik termal memiliki fungsi untuk menunjukkan kapasitas termal dari suatu material atau struktur yang sedang dianalisis. Massa titik termal mempunyai 3 pilihan sifat yang mampu mengatur interaksinya dengan struktur atau material yang sedang dianalisis, yaitu meliputi isothermal, coupled, dan heat-flux distributed. Contoh sifat isothermal dan distribusi heat-flux telah ditampilkan pada Gambar 2.16 dan 2.17.



**Gambar 2.16** Massa Titik Termal menggunakan Sifat Isothermal (Panduan Penggunaan ANSYSMechanical, 2013)



**Gambar 2.17** Massa Titik Termal menggunakan Sifat Distribusi Heat-Flux (Panduan Penggunaan ANSYSMechanical, 2013)

- Menentukan jenis sambungan. Setelah mengimpor permodelan geometri serta menentukan parameter sesuai jenis analisis yang dipilih, maka langkah selanjutnya ialah menentukan jenis sambungan yang mampu mempertahankan struktur atau material yang sedang dianalisis. Pada analisis transient thermal, jenis sambungan yang digunakan ialah contact.
- Mengaplikasikan Mesh Controls dan Preview Mesh. Ketika melakukan meshing, jika suhu dalam analisis yang dipilih digunakan dalam analisis struktural, maka meshing

yang digunakan haruslah identik. Oleh karena itu, pemilihan dalam meshing harus benar-benar diperhatikan agar analisis struktural dapat berjalan lancar.

- Menetapkan pengaturan analisis. Pengaturan analisis transient thermal yang harus diperhatikan yaitu waktu berakhirnya analisis, durasi setiap langkah analisis, dan penetapan langkah tambahan jika dibutuhkan.
- Menentukan kondisi inisial. Kondisi inisial dalam analisis transient thermal meliputi distribusi suhu pada waktu  $(t) = 0$ , dan suhu inisial yang pada umumnya sebesar 22oC atau 71,6oF.
- Mengaplikasikan beban yang terdapat pada analisis transient thermal, yaitu suhu, konveksi, radiasi, laju panas, perfectly insulated, heat flux, internal heat generation, imported temperature, dan imported convection coefficient.
- Melakukan running analisis.
- Memperoleh hasil analisis. Setelah hasil analisis muncul, maka hasil tersebut dapat divisualisasikan dengan cara mengkontur ataupun menganimasikannya untuk meninjau ulang respon struktur atau material yang telah dianalisis.

### **2.2.9 Analisis *Transient Structural* dengan ANSYS *Mechanical***

Analisis transient structural pada dasarnya juga memiliki jenis linier ataupun non-linier. Tujuan dari analisis ini ialah untuk memperoleh respon dinamis struktur akibat beban yang bergantung terhadap waktu. Berikut adalah langkah-langkah analisis transient structural berdasarkan panduan penggunaan ANSYS Mechanical:

- Memilih jenis analisis, yaitu transient structural analysis.
- Menetapkan data engineering sesuai jenis analisis yang dipilih. Pada analisis transient structural, data yang harus ditetapkan yaitu properti material. Properti material dapat berupa bentuk linier atau non-linier, isotropik atau ortotropik, dan konstan atau temperature-dependent. Modulus Young berkenaan dengan kekakuan serta massa jenis juga harus ditetapkan dalam langkah ini.
- Melampirkan data geometri. Data yang dilampirkan merupakan data geometri yang telah dimodelkan di software permodelan seperti DesignModeler, CAD, dan SolidWorks.
- Menetapkan parameter jenis analisis. Analisis transient structural memiliki parameter yang harus ditentukan yaitu massa titik (point mass). Massa titik dalam hal ini yaitu berupa bagian kaku (rigid) dari struktur atau material yang sedang dianalisis yang



terhubung ke seluruh komponen sistem struktural melalui sambungan (joints). Beban yang digunakan ialah percepatan dan kecepatan rotasional.

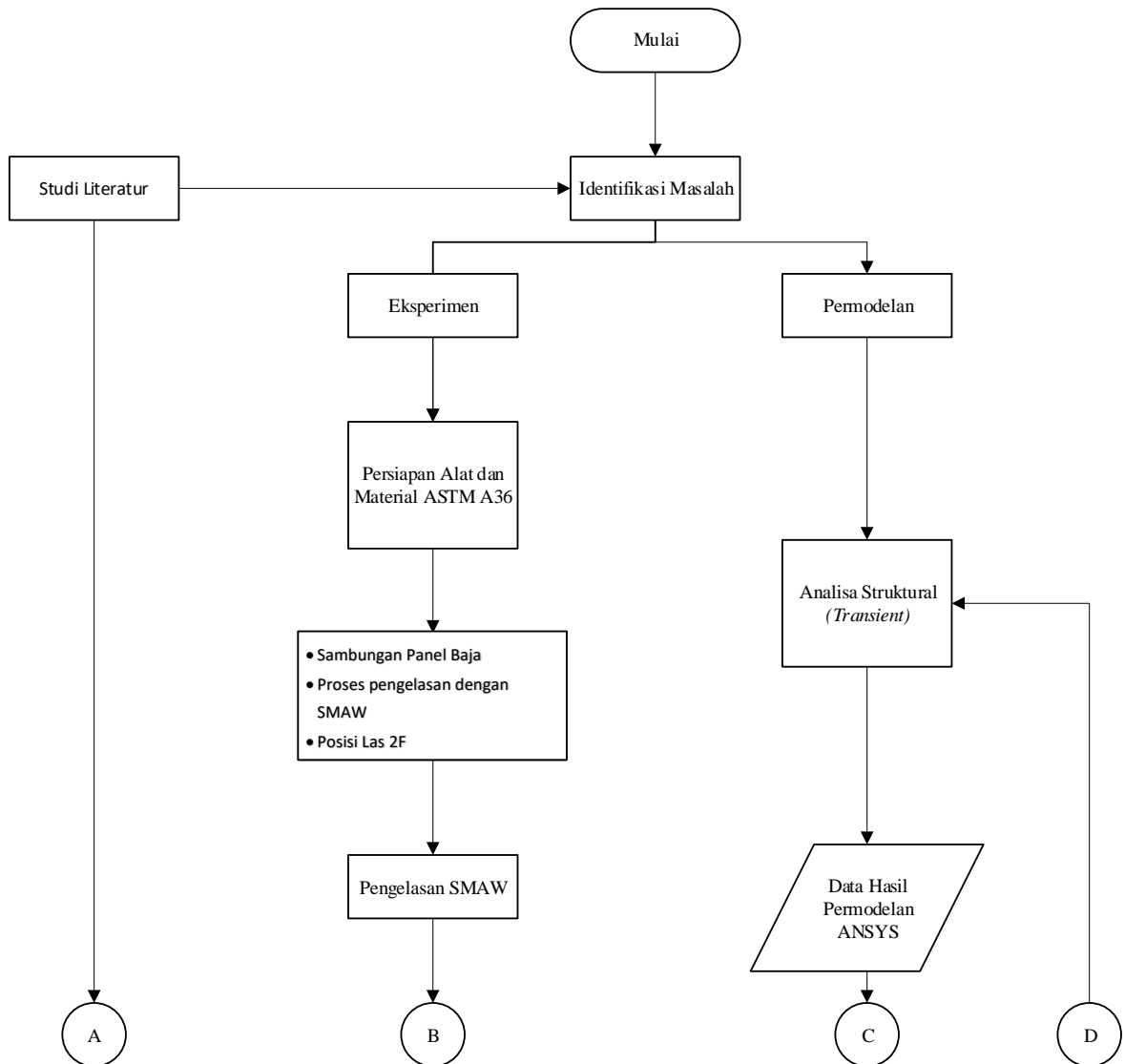
- Menentukan jenis sambungan. Pada analisis transient structural, jenis sambungan yang digunakan ialah contact, springs, dan joints.
- Mengaplikasikan Mesh Controls dan Preview Mesh. Pada jenis analisis jenis transient structural, mesh harus cukup sesuai untuk merepresentasikan mode shape tertinggi yang diinginkan.
- Menetapkan pengaturan analisis. Pengaturan analisis transient structural yang harus diperhatikan yaitu defleksi yang besar, durasi setiap langkah analisis, waktu tunggu yang diperlukan untuk dapat melakukan analisis selanjutnya berdasarkan hasil akhir, modifikasi kriteria konvergensi, penentuan koefisien kekakuan, koefisien massa, dan numerical damping, serta pengaturan hasil akhir analisis untuk dapat digunakan sebagai bahan dasar jenis analisis berikutnya.
- Menentukan kondisi inisial. Kondisi inisial yang harus ditentukan diantaranya waktu  $(t) = 0$ , serta displasemen dan kecepatan harus nol.
- Mengaplikasikan beban yang terdapat pada analisis transient structural harus memiliki nilai yang konstan serta bervariasi terhadap waktu.
- Melakukan running analisis
- Memperoleh hasil analisis. Setelah hasil analisis muncul, maka hasil tersebut dapat divisualisasikan dengan cara mengkontur ataupun menganimasikannya untuk meninjau ulang respon struktur atau material yang telah dianalisis.

## BAB III

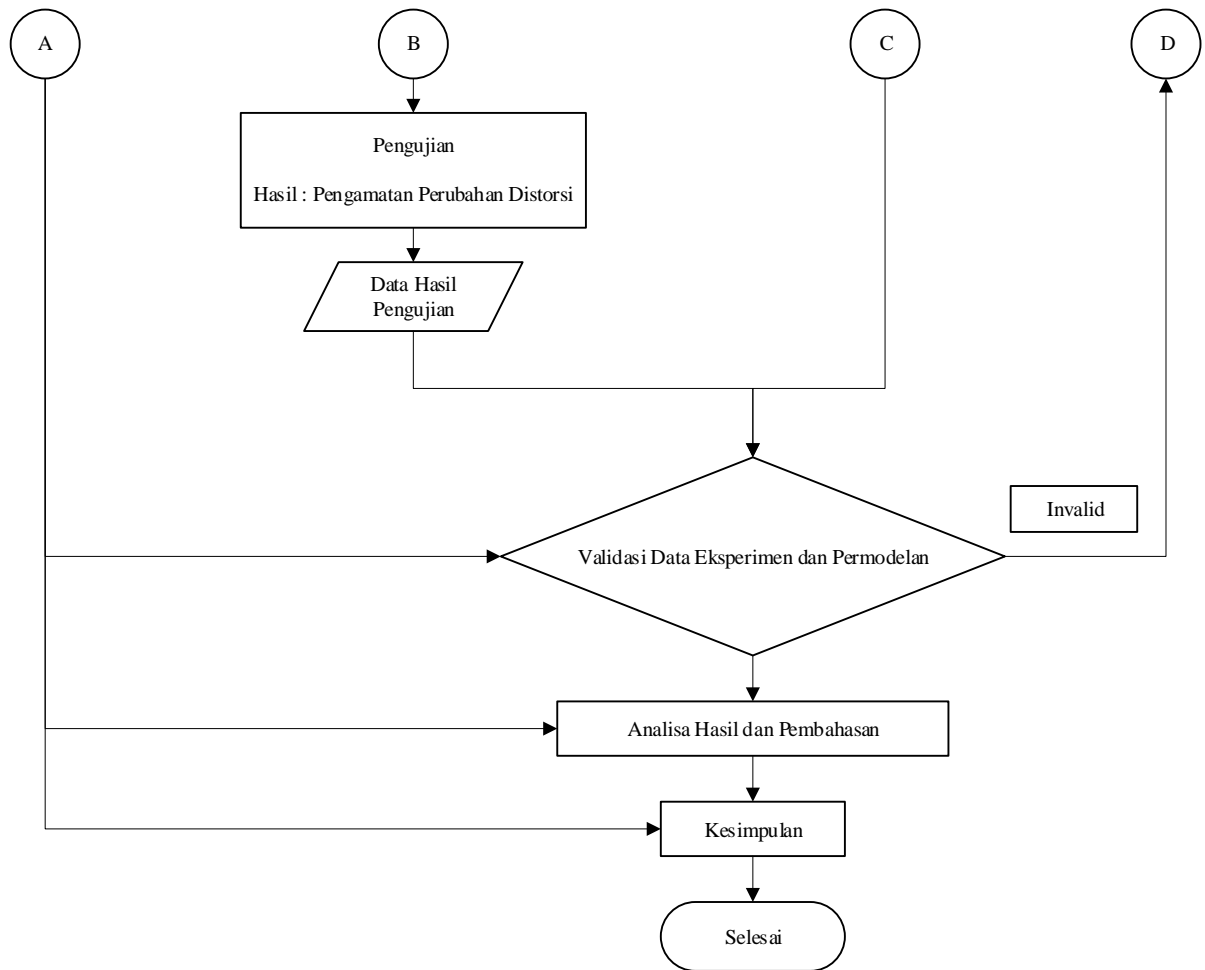
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Skema Diagram Alir

Prosedur penelitian dilakukan dengan metode diagram alir untuk mempermudah proses pengerjaan tugas akhir ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram alir pada Gambar 3.1 berikut ini:



**Gambar 3.1** Skema Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir



**Gambar 3.1** Skema Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir (lanjutan)

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Diagram alir digunakan untuk menunjukkan tahapan-tahapan dalam proses analisis. Berikut adalah penjelasan dari diagram alir di atas:

- Studi literatur

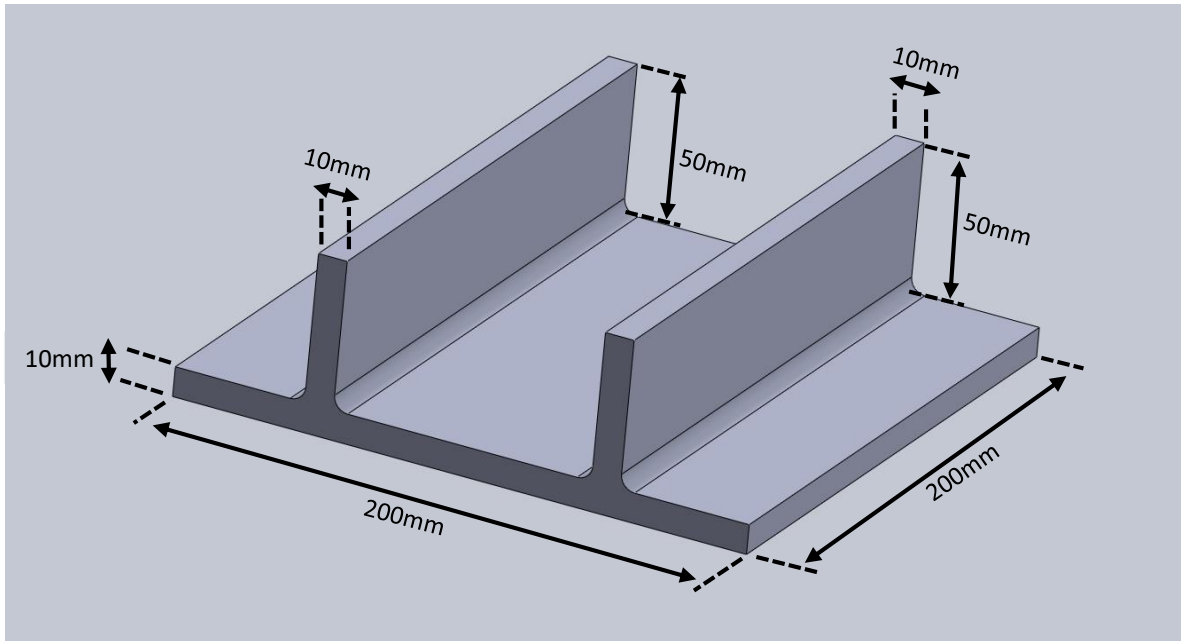
Tahap ini merupakan aktivitas mengumpulkan sumber-sumber referensi terkait pengerjaan. Literatur yang digunakan bisa berupa buku maupun publikasi-publikasi yang terbit di waktu sebelumnya yang membahas hal yang berkaitan dengan kegiatan yang dilakukan.

- Eksperimen

Eksperimen atau percobaan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang ingin diketahui secara langsung. Eksperimen atau percobaan yang dilakukan terdiri dari:

a. Persiapan material dan alat

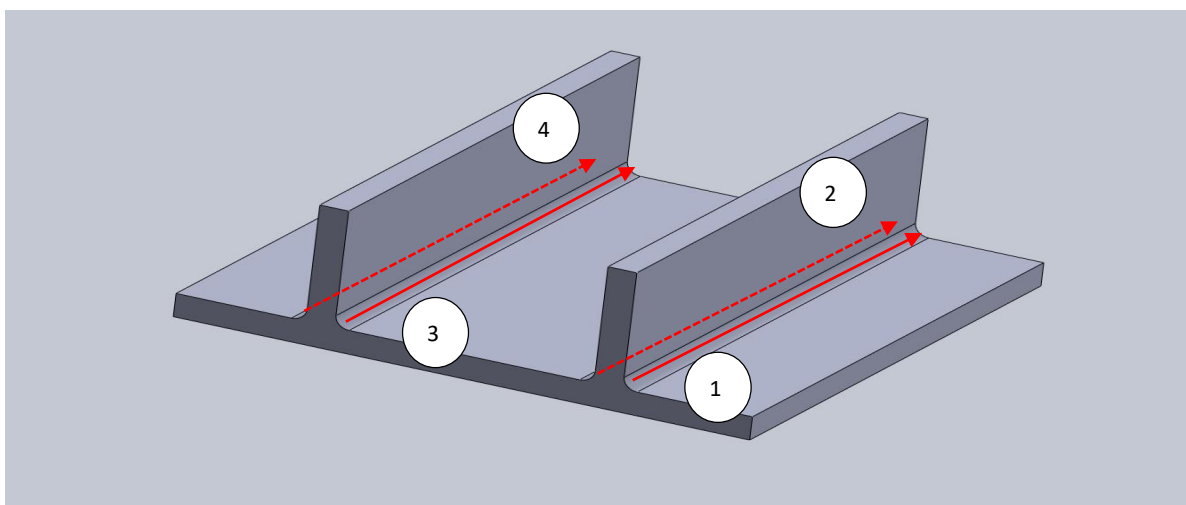
Material yang akan digunakan adalah baja A36 sebanyak 3 buah panel. Dalam satu panel terdiri dari satu plat dasar yang memiliki dimensi 200mm x 200mm x 10 mm dan dua plat penegar yang masing-masing memiliki dimensi 200mm x 50mm x 10 mm. Bentuk dan dimensi material dapat dilihat dalam Gambar 3.2.



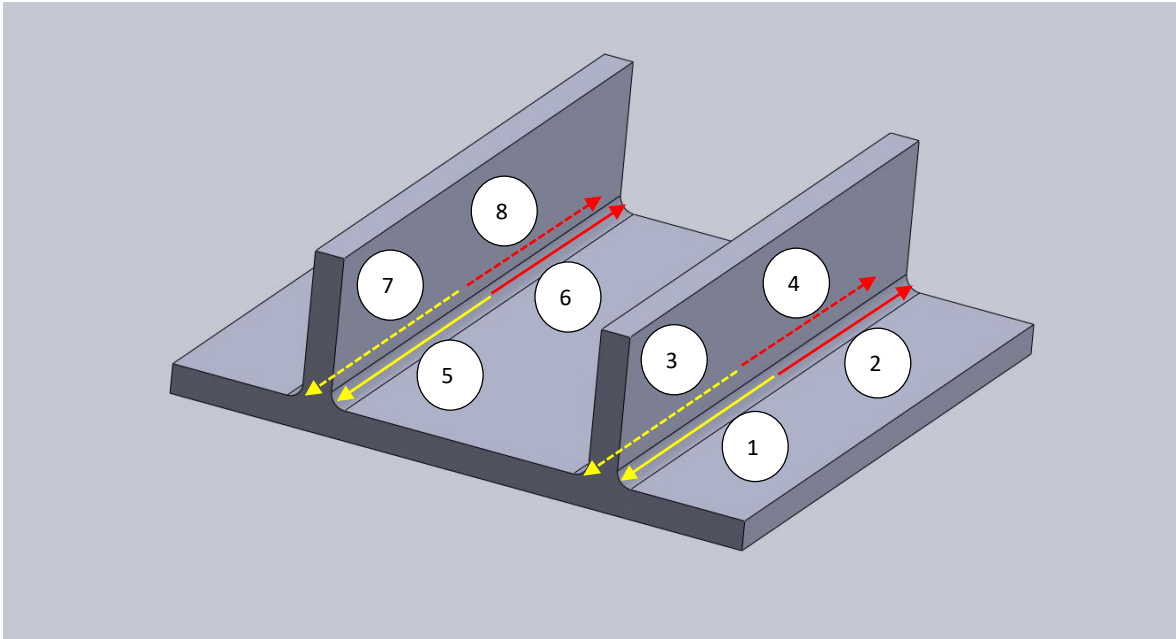
**Gambar 3.2** Bentuk dan Dimensi Material

b. Proses pengelasan

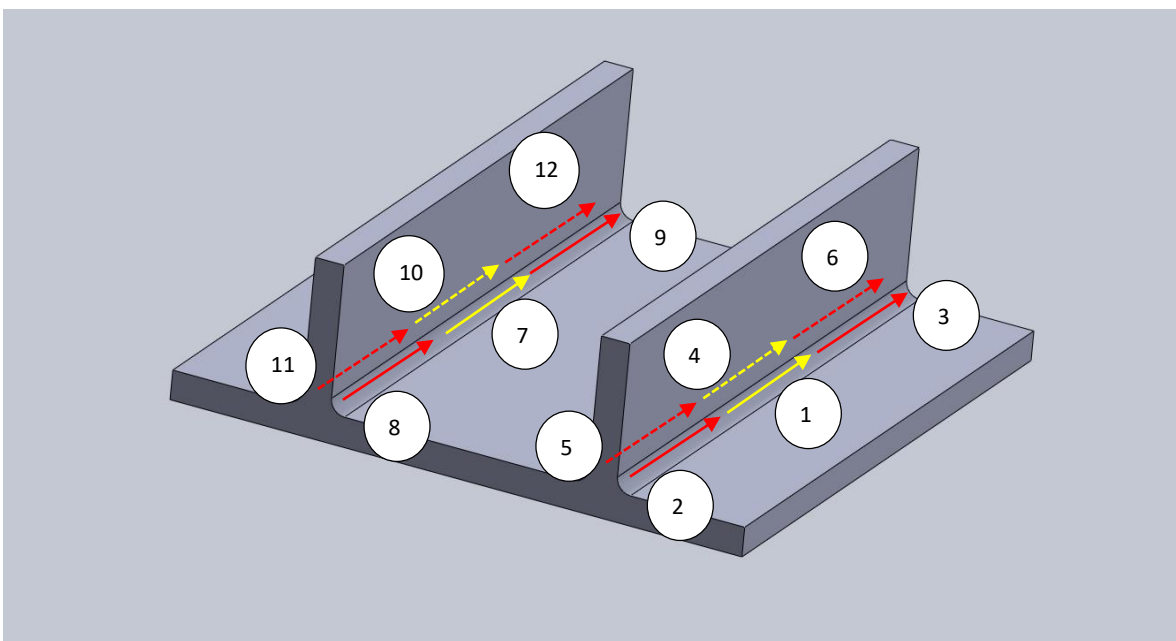
Proses pengelasan disini mencakup 3 jenis variasi urutan pengelasan yang berbeda. Menggunakan urutan pengelasan lurus, simetri dan loncat. Gambar 3.3, 3.4 dan 3.5 berikut menunjukkan perbedaan dari 3 jenis variasi tersebut.



**Gambar 3.3** Urutan Pengelasan Lurus



**Gambar 3.4** Urutan Pengelasan Simetri



**Gambar 3.5** Urutan Pengelasan Loncat

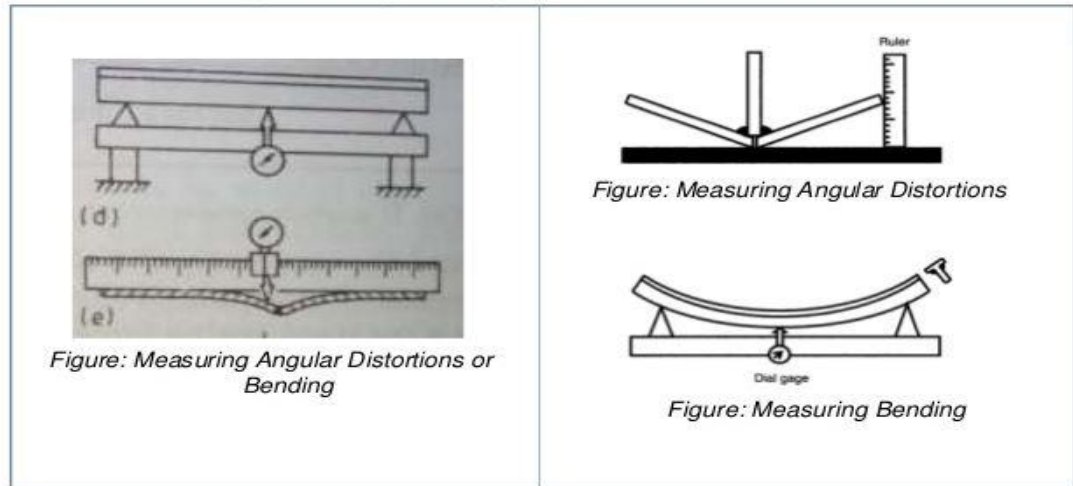
c. Uji visual

Dalam eksperimen kali ini uji visual menggunakan mata secara langsung dibantu dengan alat bantu ukur berupa penggaris.

d. Pengukuran distorsi sudut

Pengukuran distorsi sudut dapat dilakukan dengan cara meletakkan material uji di atas plat datar kemudian dilakukan pengukuran menggunakan penggaris. Penggaris

disejajarkan dengan material uji sehingga dapat menentukan besar dari distorsi sudut yang terjadi. Metode pengukuran distorsi sudut dapat dilihat pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Pengukuran Distorsi

e. Hasil pengujian

- Pembuatan Model Menggunakan *Software* Berbasis Modeling 3D Solid dan Analisis Model Menggunakan *Software* Berbasis Elemen Hingga.

Pada tahap melakukan pembuatan model material sesuai dengan material sesungguhnya. Tujuan dari membuat model material itu sendiri adalah agar dapat dilakukan analisis numerik untuk mencari hasil yang diinginkan dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga.

- Validasi Data Eksperimen dan Permodelan

Dilakukan validasi untuk memastikan bahwa permodelan yang dilakukan sudah benar. Validasi dilakukan menggunakan hasil pengujian yang berupa data perubahan distorsi pada model terhadap data distorsi panel baja A36 pada eksperimen.

- Analisis Hasil

Analisis hasil didapatkan setelah melakukan validasi data eksperimen dengan permodelan. Akan didapatkan hasil distorsi yang paling minimum dalam studi pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap distorsi pada panel baja A36.

- Saran dan kesimpulan

Pada tahap ini ditarik kesimpulan dari kegiatan yang telah dilaksanakan dan pemberian saran dilakukan untuk agar proses ini dapat menjadi acuan yang lebih baik kedepannya.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Parameter Pengelasan

Faktor yang harus diperhatikan dalam pengelasan salah satunya adalah parameter pengelasan yang digunakan. Parameter pengelasan yang digunakan adalah sebagai berikut

Proses	: SMAW
Kampuh	: Fillet weld
Arus	: 90 A
Voltase	: 24 V
Elektrode	: E7018
Diameter Elektrode	: 2,0 mm
Jumlah Lapisan	: 3 lapis

Data-data yang digunakan dan didapatkan dari proses pengelasan dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Hasil Pengelasan

No	Variasi Pengelasan	Dimensi	Arus	Voltase	Urutan	Waktu
		mm	A	V	Layer	sec
1	Lurus	200 x 200 x 50 mm	90	24	1	116.5
					2	72.3
					3	84.5
2	Simetri	200 x 200 x 50 mm	90	24	1	120.5
					2	78.7
					3	88.2
3	Loncat	200 x 200 x 50 mm	90	24	1	131.2
					2	86.3
					3	93.4

### 4.2 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan pada tiga panel baja yang sama. Proses pengelasan disini mencakup 3 jenis variasi urutan pengelasan yang berbeda. Menggunakan urutan



pengelasan lurus, simetri dan loncat. Masing-masing panel baja mendapatkan perlakuan variasi yang berbeda. Hasil pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.1.

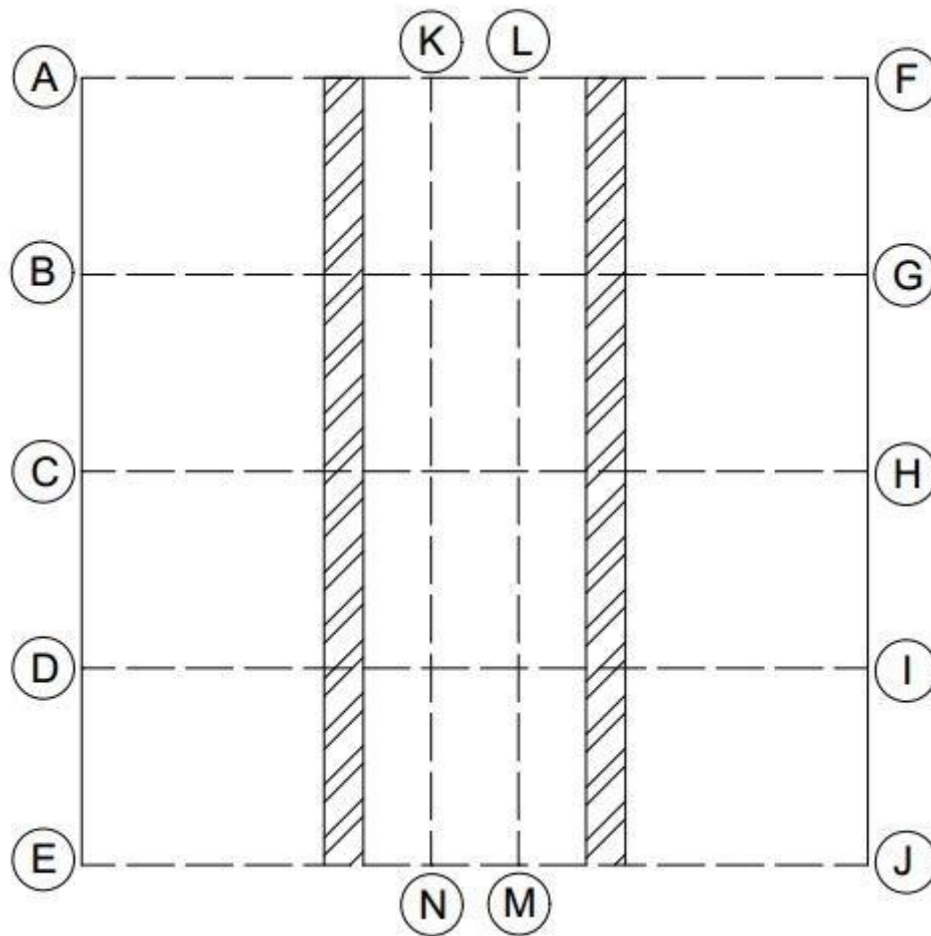


**Gambar 4.1** Hasil Pengelasan Pada Panel Baja A36

### **4.3 Data Pengukuran Distorsi Sudut**

Pengukuran distorsi sudut dapat dilakukan dengan alat *dial gauge*. Namun didalam eksperimen ini penulis menggunakan cara manual dengan menggunakan alat berupa alas datar, penggaris dan busur. Dalam penelitian ini perhitungan distorsi yang diukur hanya searah sumbu Y (melintang lasan) karena hasilnya lebih menunjukkan perubahan distorsi sudut, sedangkan arah sumbu X di abaikan karena hasilnya sangatlah kecil.

Panel baja A36, alas datar, penggaris dan busur dipersiapkan untuk dilakukan pengujian. Material uji diletakkan di atas plat datar kemudian dilakukan pengukuran menggunakan penggaris. Penggaris disejajarkan dengan material uji sehingga dapat menentukan besar dari distorsi sudut yang terjadi. Pengukuran dilakukan dengan cara menentukan titik pengukuran terlebih dahulu. Titik pengukuran dapat dilihat dalam ilustrasi Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Titik Pengukuran Tampak Atas Pada Panel Baja A36

Setelah menentukan titik pengukuran sesuai dengan Gambar 4.2, maka proses pengukuran distorsi sudut dapat dilakukan. Pengukuran distorsi sudut dilakukan dengan cara yang sudah dijelaskan. Adapun data pengukuran distorsi sudut dapat dilihat dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5.

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36

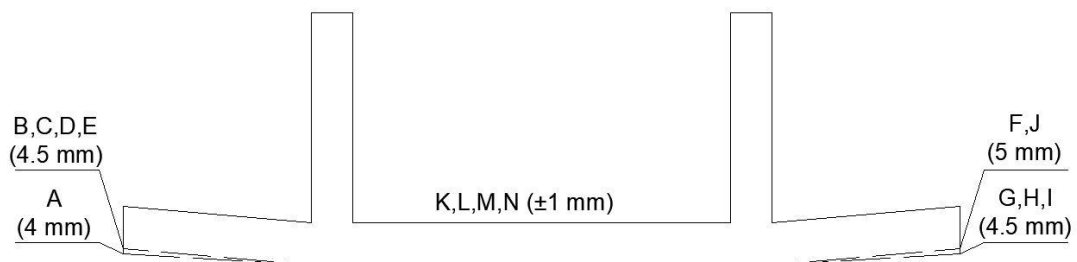
Titik	Urutan Lurus (mm)	Urutan Simetri (mm)	Urutan Loncat (mm)
A	4	5	3.5
B	4.5	4	3.5
C	4.5	4	3.5
D	4.5	4	3.5
E	4.5	5	4
F	5	4	4

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36 (lanjutan)

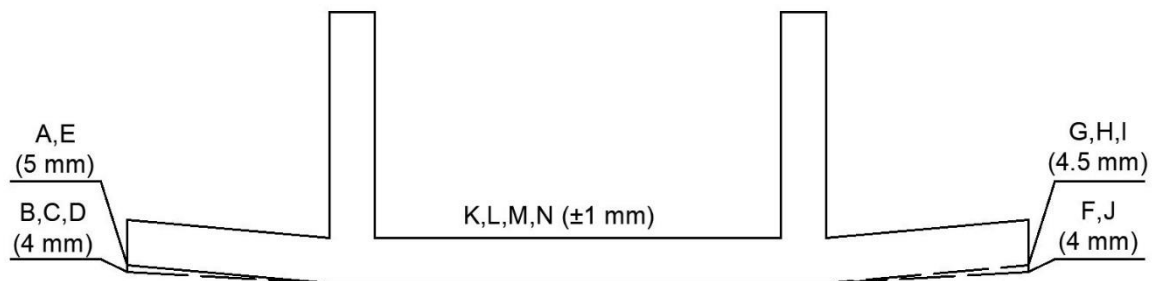
G	4.5	4.5	4
H	4.5	4.5	4
I	4.5	4.5	4
J	5	4	4.5
K	1	1	1
L	1	1	1
M	1	1	1
N	1	1	1

Panjang total distorsi pada eksperimen pengelasan:

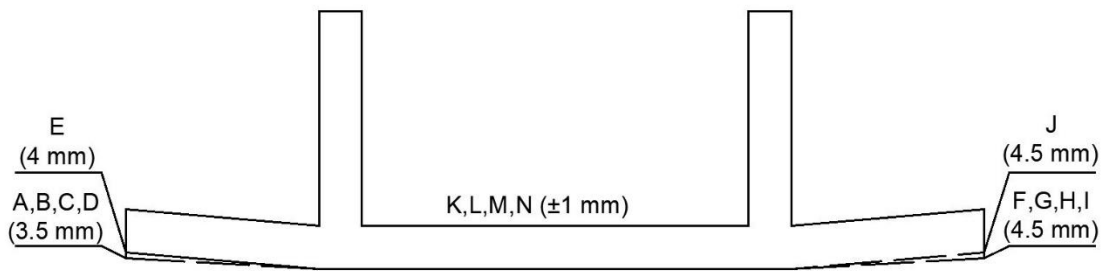
- Urutan pengelasan lurus = 49.5 mm
- Urutan pengelasan simetri = 47.5 mm
- Urutan pengelasan loncat = 42.5 mm



**Gambar 4.3** Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36 Variasi Urutan Pengelasan Lurus



**Gambar 4.4** Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36 Variasi Urutan Pengelasan Simetri



**Gambar 4.5** Hasil Pengukuran Distorsi Sudut Pada Panel Baja A36 Variasi Urutan Pengelasan Loncat

#### 4.4 Permodelan Panel Baja A36

Pembuatan model panel baja A36 ini menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Pada penelitian tugas akhir ini *software* berbasis elemen hingga menggunakan *software* ANSYS 16.0. Proses permodelan memiliki beberapa tahap pengerjaan. Tahap pengerjaannya dimulai dari mempersiapkan data yang dibutuhkan. Kemudian dilanjutkan dengan memasukkan data kedalam analisa *Transient Thermal*. Tahapan berikutnya setelah melakukan analisa *Transient Structural*.

##### 4.4.1 Perhitungan Heat Input

Dari data yang sudah ada maka dapat dihitung besar dari masing-masing *heat input* untuk tiap layer pengelasan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \eta V \cdot I / v \text{ (kJ/mm)} \quad (4.1)$$

Dimana:

Q : *Heat Input* (kJ/mm) per layer

$\eta$  : *Thermal Efficiency* (60%)

V : Tegangan Busur Las (V)

I : Arus Listrik Las (A)

v : Kecepatan Pengelasan (mm/min)

Setelah dilakukan perhitungan dari masing-masing layer maka didapatkan hasil perhitungan *heat input* seperti pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Perhitungan *Heat Input*

No	Welding Variation	Layer Number	Time	Travel Speed	Heat Input
			minute	(mm/min)	
1	Urutan Pengelasan Lurus	1	1.94	102.97	1.26
		2	1.20	166.05	0.78
		3	1.41	141.96	0.91
2	Urutan Pengelasan Simetri	1	2.01	99.59	1.30
		2	1.31	152.48	0.85
		3	1.47	136.05	0.95
3	Urutan Pengelasan Loncat	1	2.19	91.46	1.42
		2	1.44	139.05	0.93
		3	1.56	128.48	1.01

#### 4.4.2 Perhitungan *Heat Flux*

Pada *software* ANSYS sumber panas yang digunakan adalah *heat flux*. Begitu pula dengan proses pengelasan, beban yang diterima oleh *base metal* adalah beban *heat flux*. *Heat flux* sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah besarnya arus listrik, tegangan dan kecepatan pengelasan.

Permodelan yang dilakukan dalam penelitian ini kampuh las dibuatkan model dan geometri yang mendekati kondisi asli. Geometri kampuh las pada penelitian ini yang diberikan beban termal setiap layer dimana pada pengelasan terdapat tiga layer. Untuk menghitung *heat flux* diperlukan beberapa parameter yang harus ditentukan dengan cara seperti dibawah ini.

Perhitungan *heat flux* pada pengelasan SMAW 90 A. Dimana:

Dimensi panel baja A36:

p = 200 mm

l = 200 mm

t = 60 mm

Spesifikasi Kampuh Las:

Kaki las = 10 mm

Panjang Satu elemen = 20 mm

Pass filler:

Kuat arus (I) = 90 A

Voltase (V) = 24 V

Efisiensi SMAW ( $\eta$ ) = 0.75

Diameter elektroda = 2 mm

Luas penampang elektroda ( $A_e$ ) = 3.14 mm<sup>2</sup>

Perhitungan *heat input* bersih:

$$\begin{aligned} Q &= \eta V.I \\ &= 0.75 \times 24 \text{ V} \times 90 \text{ A} \\ &= 1620 \text{ watt} \end{aligned}$$

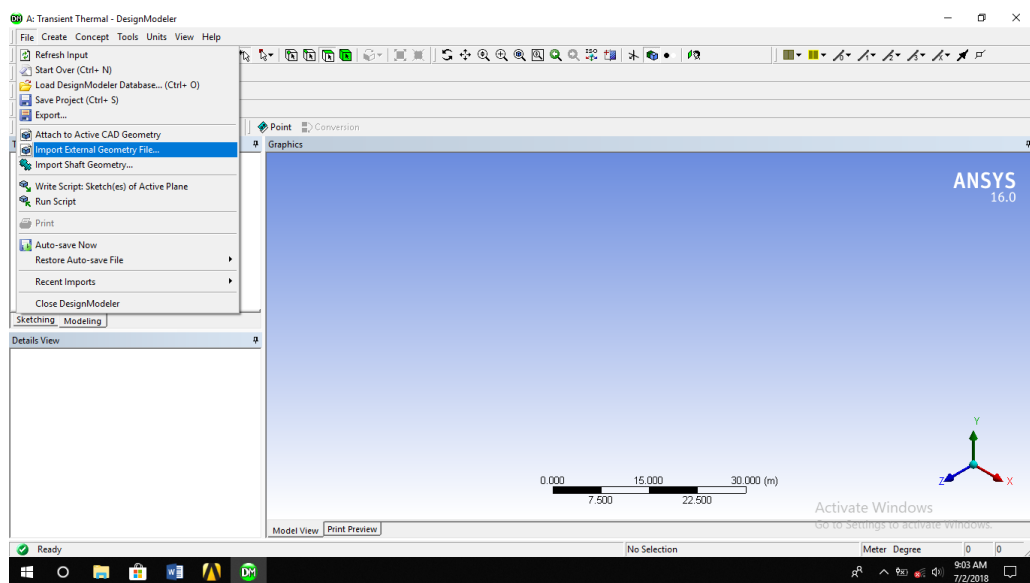
Perhitungan *heat input* yang dihasilkan elektroda:

$$\begin{aligned} Q_e &= Q_{\text{nett}} / A_e \\ &= 1620 \text{ watt} / 3.14 \text{ mm}^2 \\ &= 515.92 \text{ watt/mm}^2 \end{aligned}$$

Konversi kedalam satuan Celcius = 271.67 °C

#### 4.4.3 Input Hasil Geometri dari SolidWorks ke ANSYS Mechanical

Perpindahan data geometris dari SolidWorks ke ANSYS Mechanical dapat dilakukan dengan cara melakukan perintah *import* data yang ada didalam pilihan pengerjaan ANSYS Mechanical. Proses perpindahan data lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.6.

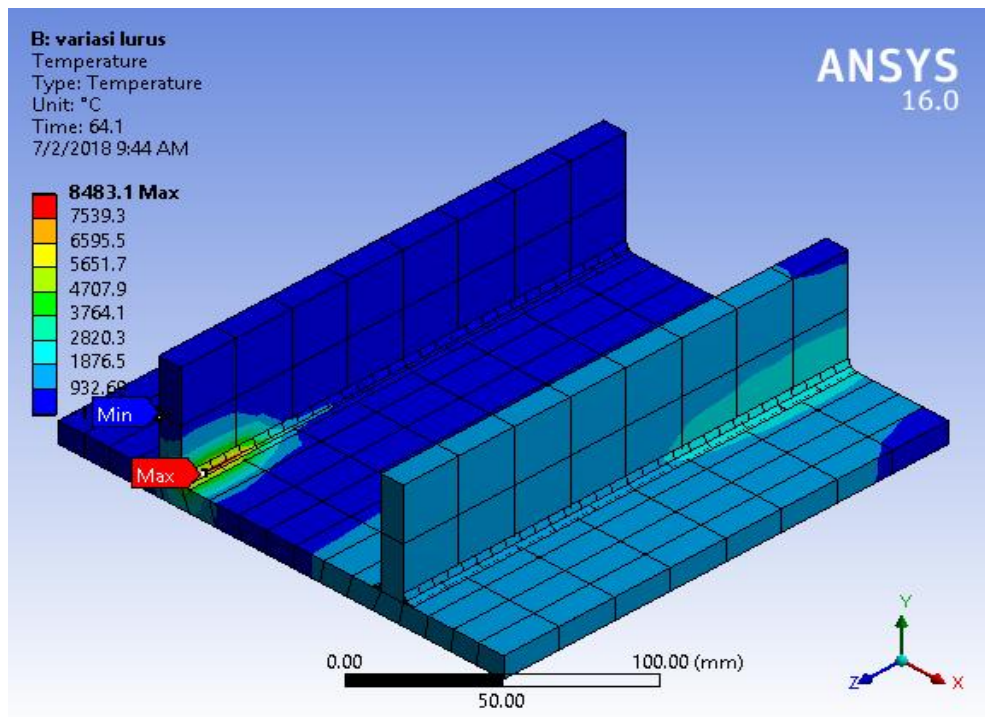


Gambar 4.6 Import Data Geometri dari SolidWorks ke ANSYS Mechanical

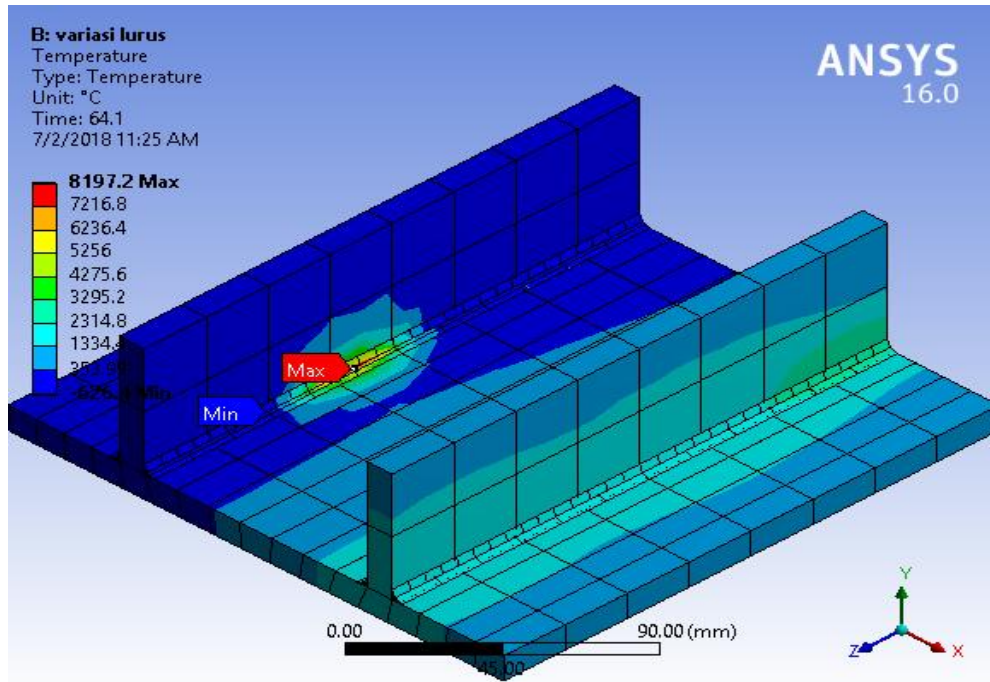
#### 4.4.4 Pengerjaan *Transient Thermal*

Setelah berhasil memasukkan data geometri, penulis memilih lembar kerja *Transient Thermal* yang tersedia didalam lembar kerja ANSYS *Mechanical*. Analisis transient thermal memiliki fungsi untuk menentukan suhu maupun berbagai paramater termal yang memiliki variasi terhadap waktu. Hasil yang akan diperoleh yaitu berupa distribusi suhu (panas) yang mampu memicu terjadinya kegagalan suatu struktur atau material. Hasil analisis transient thermal ini dapat digunakan untuk melakukan analisis struktural berkenaan dengan beban-beban apa saja yang terdapat pada struktur atau material analisis.

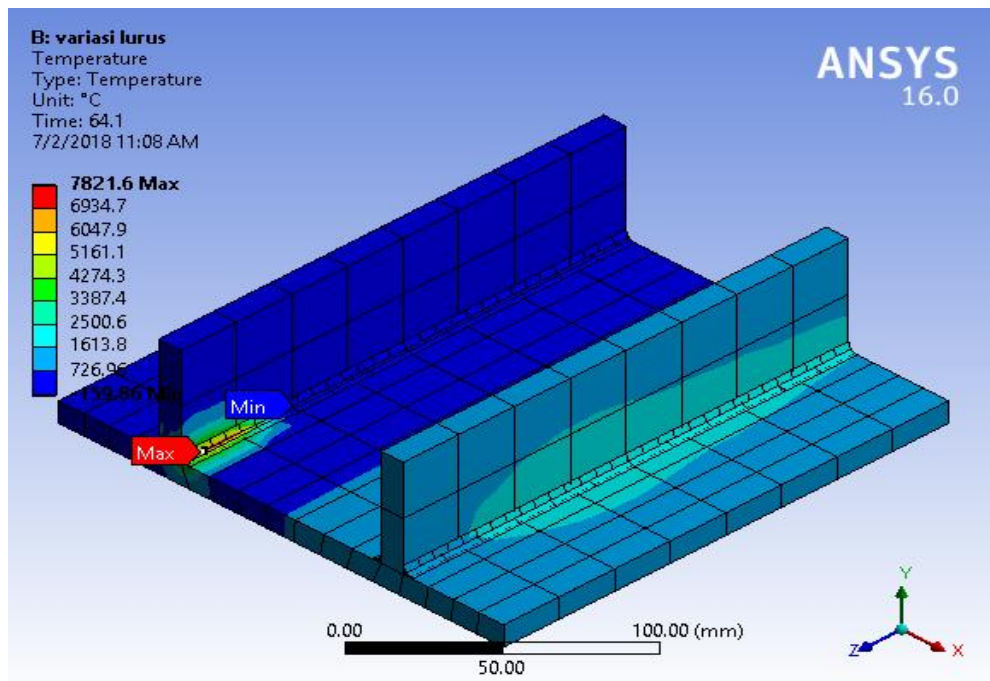
Proses pengerjaan di dalam analisis *transient thermal* memiliki beberapa tahapan yang dijelaskan pada Lampiran A yang berada di halaman akhir Tugas Akhir ini. Hasil akhir dalam tahap analisis *transient thermal* dapat dilihat pada Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9.



**Gambar 4.7** Hasil Akhir Analisis *Transient Thermal* Urutan Lurus



**Gambar 4.8** Hasil Akhir Analisis *Transient Thermal* Urutan Simetri



**Gambar 4.9** Hasil Akhir Analisis *Transient Thermal* Urutan Loncat

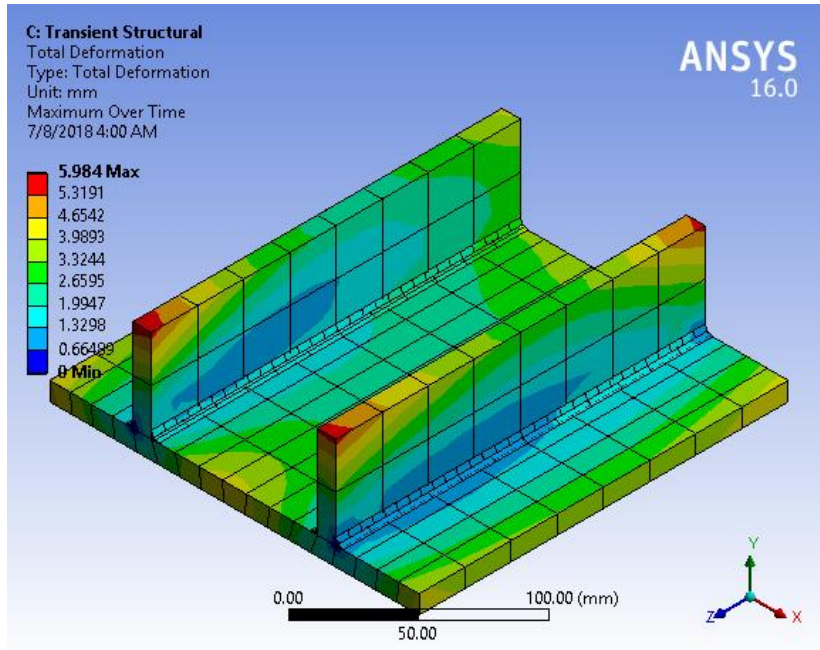
#### 4.4.5 Pengerjaan *Transient Structural*

Hasil dari analisa *transient thermal* dimasukkan kedalam analisa berikutnya yaitu analisa *transient structural*. Analisis *transient structural* pada dasarnya juga memiliki jenis

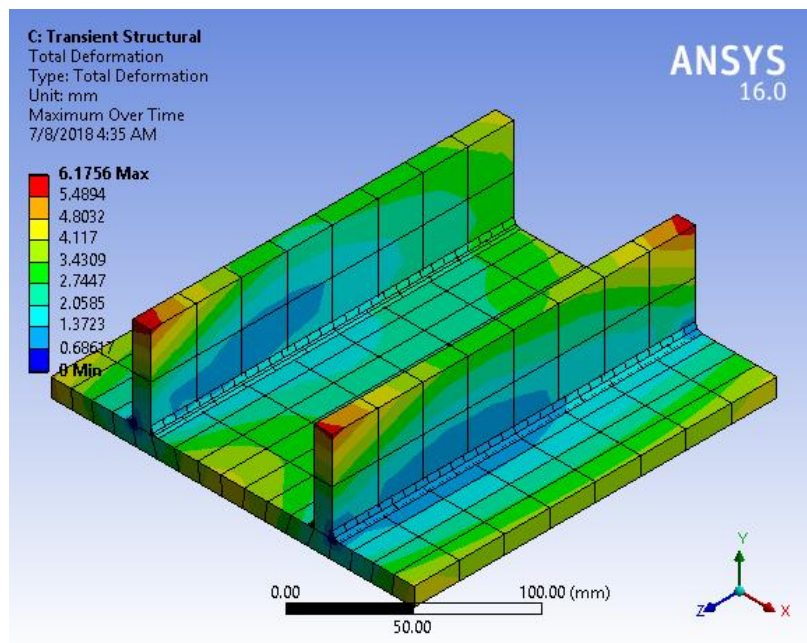


linier ataupun non-linier. Tujuan dari analisis ini ialah untuk memperoleh respon dinamis struktur akibat beban yang bergantung terhadap waktu.

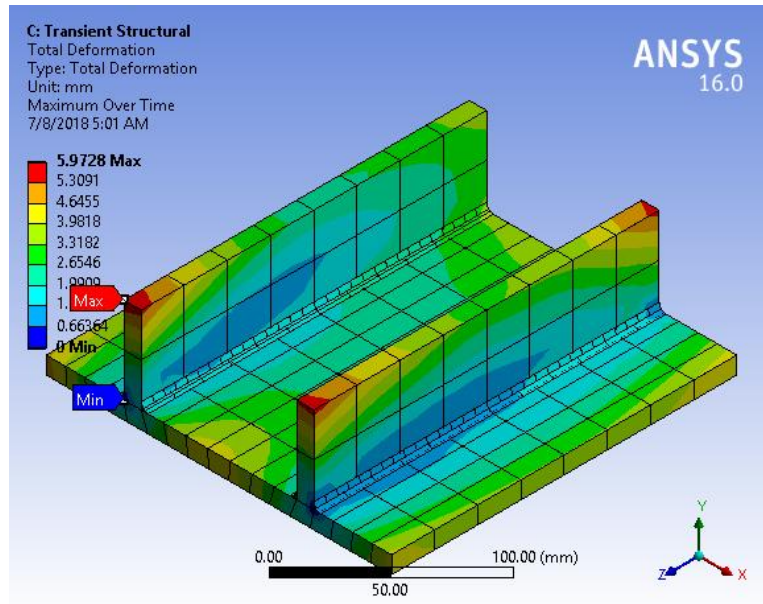
Proses pengerjaan di dalam analisis *transient structural* memiliki beberapa tahapan yang dijelaskan pada Lampiran B yang berada di halaman akhir Tugas Akhir ini. Hasil akhir dalam tahap analisis *transient structural* dapat dilihat pada Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12.



**Gambar 4.10** Hasil Akhir Analisis *Transient Structural* Urutan Lurus



**Gambar 4.11** Hasil Akhir Analisis *Transient Structural* Urutan Simetri



**Gambar 4.12** Hasil Akhir Analisis *Transient Structural* Urutan Loncat

#### 4.4.6 Validasi Hasil Eksperimen dan Permodelan

Pada tugas akhir ini, hasil yang diperoleh setelah melakukan permodelan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah sebelumnya. Hasil yang di validasi ialah distorsi sudut berupa deformasi beberapa titik dari sisi panel baja A36 yang sejajar dengan penegar. (titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.2). Perbandingan hasil validasi dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** Perbandingan Hasil Eksperimen dan Permodelan Terhadap Distorsi Sudut

Titik	Urutan Lurus (mm)		Urutan Simetri (mm)		Urutan Loncat (mm)	
	Eksperimen	Permodelan	Eksperimen	Permodelan	Eksperimen	Permodelan
A	4	4.3	5	4.4	3.5	4
B	4.5	3.7	4	3.9	3.5	3.7
C	4.5	3.8	4	3.7	3.5	3.5
D	4.5	3.8	4	3.8	3.5	3.8
E	4.5	4.2	5	4.5	4	4
F	5	4.5	4	4.4	4	4
G	4.5	4	4.5	4.1	4	4
H	4.5	4	4.5	3.5	4	3.5
I	4.5	4.1	4.5	3.7	4	3.7
J	5	4.6	4	4.2	4.5	4.4
K	1	1	1	1	1	1

**Tabel 4. 4** Perbandingan Hasil Eksperimen dan Permodelan Terhadap Distorsi Sudut  
(lanjutan)

L	1	1	1	1	1	1
M	1	1	1	1	1	1
N	1	1	1	1	1	1

Perbandingan panjang total distorsi pada eksperimen pengelasan dan permodelan dapat ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil Eksperimen dan Permodelan Terhadap Distorsi Sudut

No.	Variasi Urutan	Eksperimen	Permodelan
1	Urutan Lurus	49.5 mm	45 mm
2	Urutan Simetri	47.5 mm	44.2 mm
3	Urutan Loncat	42.5 mm	42.6 mm

Sesuai dengan Tabel 4.5, telah diketahui bahwa variasi urutan pengelasan loncat memiliki nilai distorsi paling minimum.

#### 4.4.7 Analisis Hasil

Analisis hasil didapatkan setelah melakukan validasi data eksperimen dengan permodelan. Akan didapatkan hasil distorsi yang paling minimum dalam studi pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap distorsi pada panel baja A36. Untuk mencari data hasil pengukuran distorsi sudut yang berupa deformasi beberapa titik dari sisi panel baja A36 yang sejajar dengan penegar dilakukan penentuan titik pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Pada eksperimen pengelasan didapatkan data pada urutan pengelasan variasi lurus di dapatkan panjang total distorsi sebesar 49.5 mm. Pada urutan pengelasan variasi simetri di dapatkan panjang total distorsi sebesar 47.5 mm. Pada urutan pengelasan variasi loncat di dapatkan panjang total distorsi sebesar 42.5 mm. Jika dilihat dari hasil eksperimen saja, maka urutan pengelasan loncat dapat ditarik kesimpulan sebagai variasi urutan pengelasan yang paling kecil nilai distorsinya. Namun untuk memastikan kembali hasil tersebut dilakukan permodelan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Dikarenakan ada beberapa faktor yang mungkin dapat mempengaruhi hasil dari

eksperimen. Seperti keahlian dari juru las yang berbeda-beda menyebabkan hasil eksperimen dapat berbeda-beda. Selain itu kondisi lingkungan didalam bengkel las juga dapat mempengaruhi hasil dari eksperimen tersebut.

Setelah melakukan pengumpulan data hasil dari eksperimen maka tahapan selanjutnya adalah melakukan permodelan. Pada permodelan didapatkan hasil pada urutan pengelasan variasi lurus panjang total distorsi sebesar 45 mm. Pada urutan pengelasan variasi simetri di dapatkan panjang total distorsi sebesar 44.2 mm. Pada urutan pengelasan variasi loncat di dapatkan panjang total distorsi sebesar 42.6 mm. setelah mengumpulkan data dengan meninjau titik yang sama dengan titik tinjau pada eksperimen dilakukan perbandingan data dan mencari nilai deformasi yang paling minimum.

Berdasarkan hasil dari validasi data eksperimen dan permodelan maka variasi urutan pengelasan loncat merupakan urutan pengelasan yang menghasilkan distorsi sudut yang paling minimum. Hal ini dikarenakan pada urutan pengelasan loncat persebaran tegangan sisa dan distorsi mampu menyebar lebih merata dibandingkan dengan urutan lainnya. Sehingga menyebabkan minimnya hasil distorsi sudut yang dibuktikan dengan hasil eksperimen dan permodelan. Sedangkan untuk variasi lainnya distribusi tegangan sisa dan distorsi memiliki persebaran yang kurang merata dan hanya berpusat pada area tertentu dengan nilai deformasi yang tinggi.

Distorsi yang terjadi pada proses pengelasan memang tidak dapat dihindari. Namun meski demikian dalam dunia fabrikasi kasus distorsi pada pengelasan dapat dikurangi dampaknya. Dengan didapatkan hasil distorsi yang minimum maka diharapkan struktur dapat berfungsi secara optimal. Umur dari struktur tersebut juga diharapkan mampu bertahan lebih lama dibandingkan dengan umur struktur yang memiliki distorsi sudut yang lebih besar setelah proses pengelasan berlangsung.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Pada urutan pengelasan variasi lurus di dapatkan panjang total distorsi sebesar 49.5 mm dari hasil eksperimen dan 45 mm dari hasil permodelan.
2. Pada urutan pengelasan variasi simetri di dapatkan panjang total distorsi sebesar 47.5 mm dari hasil eksperimen dan 44.2 mm dari hasil permodelan.
3. Pada urutan pengelasan variasi loncat di dapatkan panjang total distorsi sebesar 42.5 mm dari hasil eksperimen dan 42.6 mm dari hasil permodelan.
4. Berdasarkan hasil validasi hasil eksperimen dengan permodelan, variasi urutan pengelasan loncat memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan variasi lain. Hal itu dikarenakan variasi urutan pengelasan loncat memiliki distorsi sudut yang paling minimum dibandingkan dengan variasi lainnya.

#### 5.2 Saran

Berbagai macam trial & error telah dilakukan dalam penelitian ini akibat jumlah lapisan lasan yang lebih dari satu lapis yang mengakibatkan banyaknya *load step* yang harus diperhatikan dengan baik. Sebagai tindak lanjutnya, jika topik tugas akhir ini diteliti lagi, mohon untuk melakukan saran dibawah ini:

1. Menambah variasi urutan pengelasan lainnya, serta membandingkannya dengan variasi yang belum pernah sama sekali digunakan untuk fabrikasi.
2. Menambah variasi jenis sehingga dapat diketahui jenis pengelasan apa yang paling cocok untuk material baja A36.
3. Jika memungkinkan, juru las harus memiliki sertifikat pengelasan yang baik sehingga hasil eksperimen dapat maksimal.
4. Membuat *timeline* yang teratur untuk pengerjaan tugas akhir topik ini, agar mampu menganalisis dengan waktu yang terjadwal sehingga mampu mendapatkan hasil yang maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS, Inc. 2013. ANSYS Mechanical User's Guide: Release 15.0. Canonsburg: ANSYS, Inc.
- ANSYS, Inc. 1999. Theory Reference: Release 5.6. Canonsburg: ANSYS, Inc.
- Djamiko, R. D. 2008. Modul Teori Pengelasan Logam. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hartono, A. 2017. Analisis Numerik Tegangan Sisa dan Distorsi menggunakan Metode Elemen Hingga pada Konstruksi Inner Bottom Kapal Survey Geomarin IV dengan Variasi Urutan Pengelasan. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Logan, Daryl. L. 2000. *A First Course in the Finite Element Method Fourth Edition*. Thomson: Canada.
- Magga, Ramang. 2009. "Pengaruh Pembentukan Tegangan Sisa pada Hasil Pengelasan", JIMT. Vol. 6: 54-62.
- Nurfitriana, M.A. 2016. Analisa Pengaruh pengelasan SMAW dan FCAW-SS Pada Material *Low Carbon Steel Grade S355J2+N* Terhadap Perubahan Distorsi Dengan Variasi *Heat Input* Dengan Menggunakan Metode Eksperimen dan Metode Numerik. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Peric, M., Zdenko, T., Alan, R., Martin, S., Ivica, G., Ivanka, B., dan Srecko, S. 2013. Numerical Analysis and Experimental Investigation of Welding Residual Stress and Distortions in a T-joint Fillet Weld. Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia.
- Prasetya, Eko., Z. Arifin, dan T. Joko. 2010. "Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Pada Pengelasan Logam Tak Sejenis antara Baja Tahan Karat AISI 304 dan Baja Karbon Rendah SS 400 dengan Metode Beda Hingga", MEKANIKA. Vol. 9: 262-267.
- Syahroni, Nur., dan M. I. P. Hidayat. 2012. "3D Finite Element Simulation of T-Joint Fillet
- Wibisono, B. O. B. 2017. Analisa Tegangan Sisa pada Panel Plat dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Jenis Elemen Solid dan Elemen Shell. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wibowo, B. A. 2016. Analisa Numerik Tegangan Sisa dan Distorsi pada Struktur Plat Berpenegar Jamak dengan Variasi Urutan Pengelasan. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

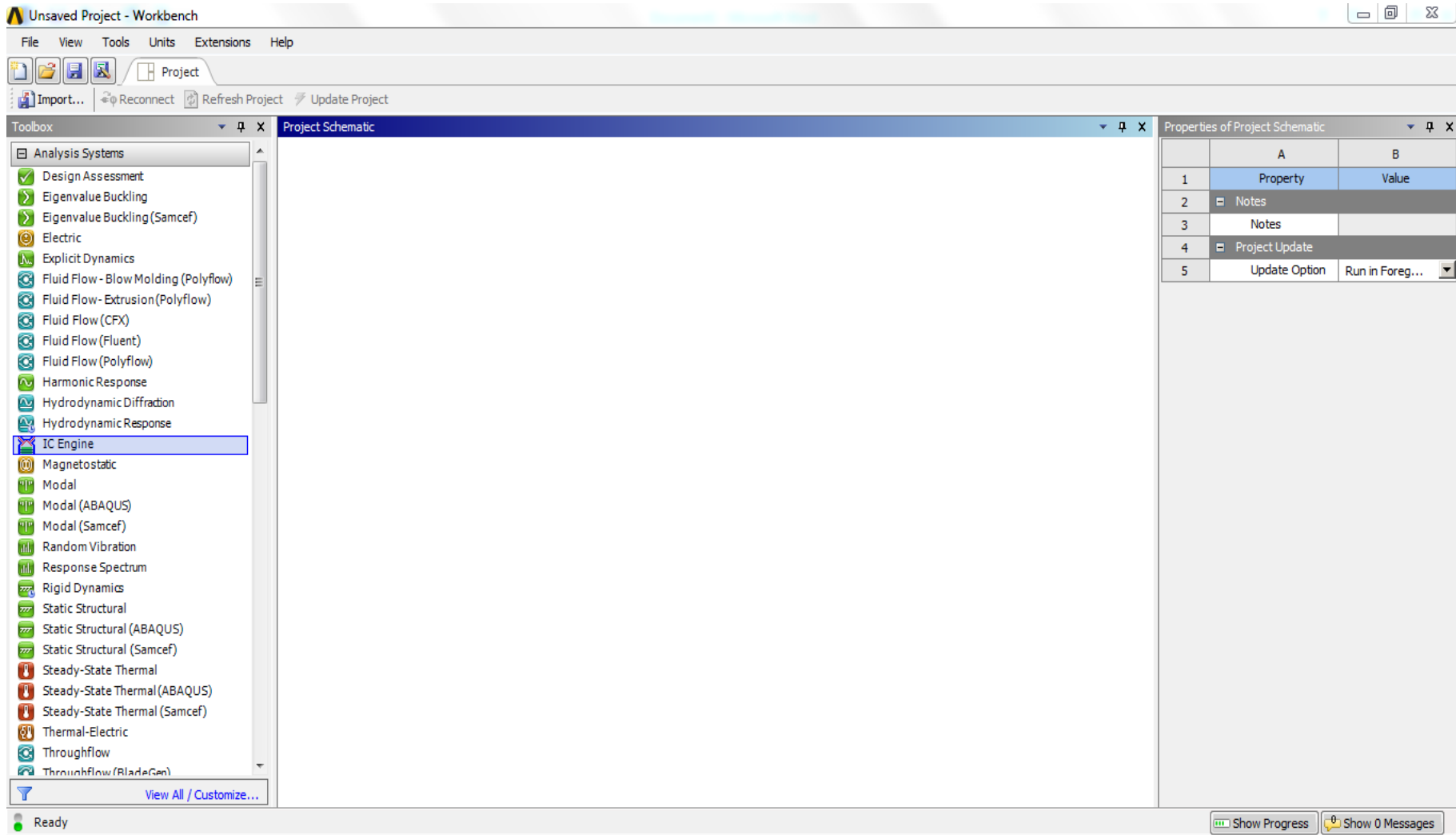
Wiryo Sumarto, H., dan T. Okumura. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.

# **LAMPIRAN A**

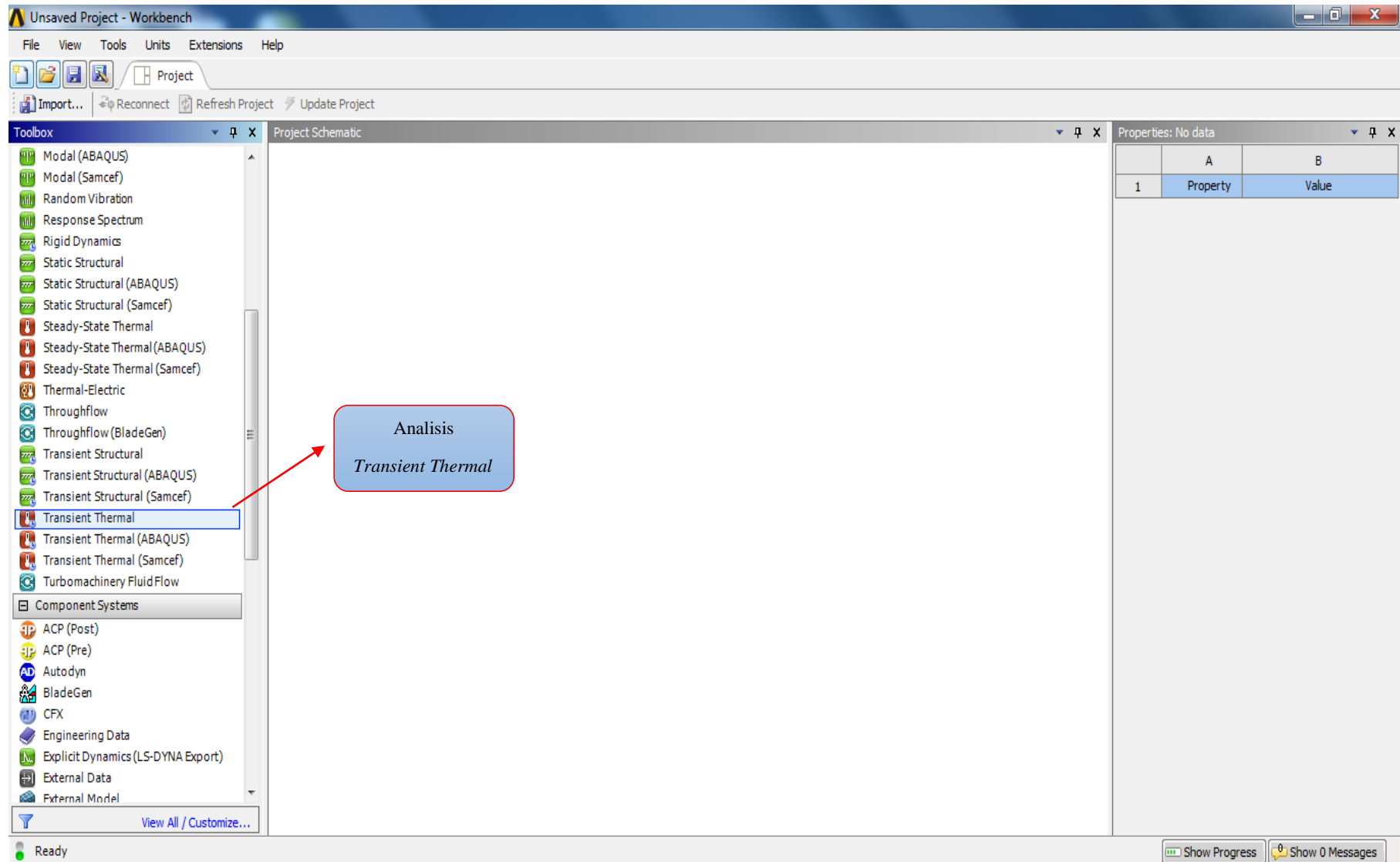
**LANGKAH-LANGKAH ANALISIS *TRANSIENT*  
*THERMAL***



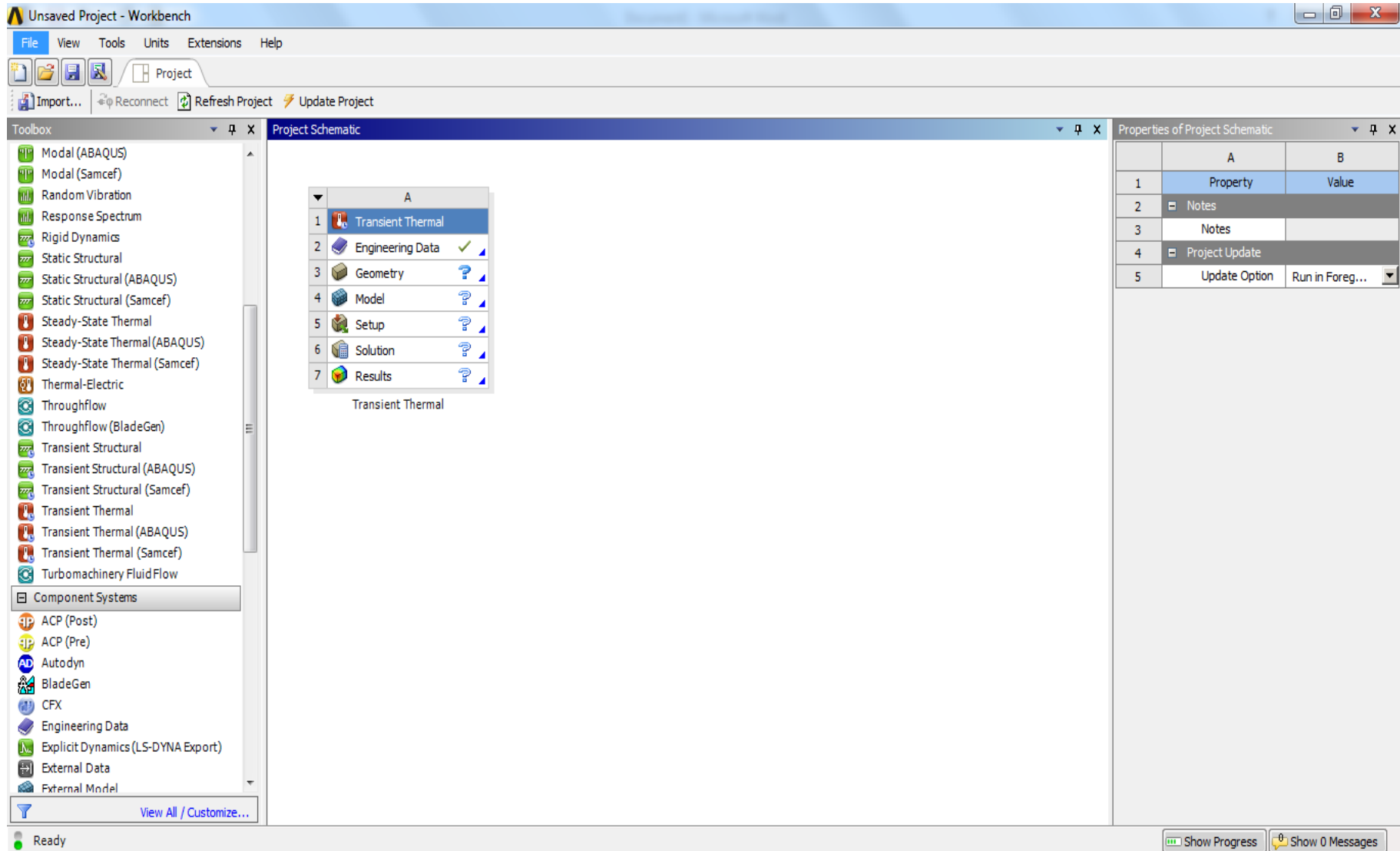
# 1. Tampilan Awal ANSYS Workbench 16.0.



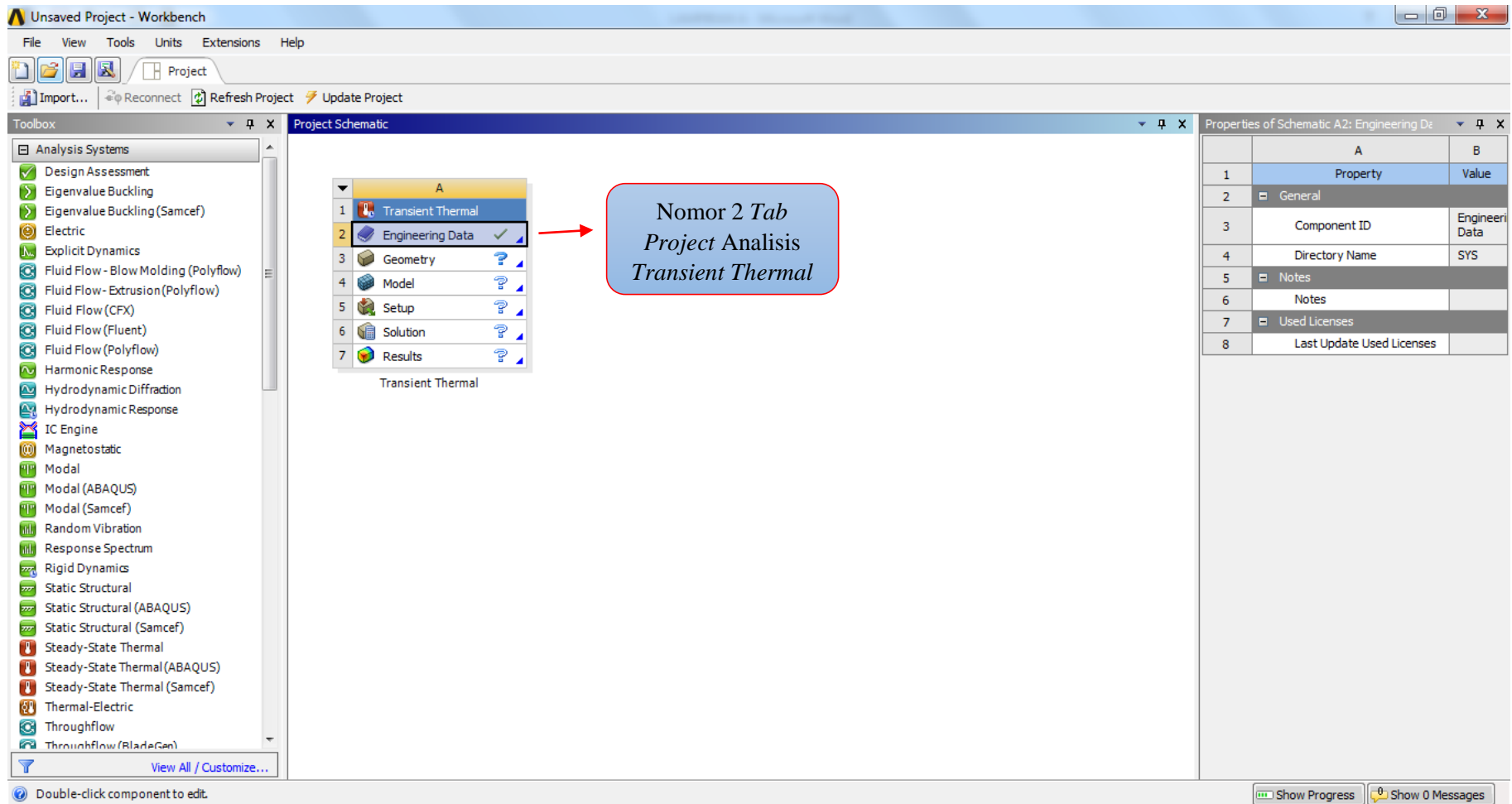
## 2. Memilih Jenis Analisis “*Transient Thermal*”.



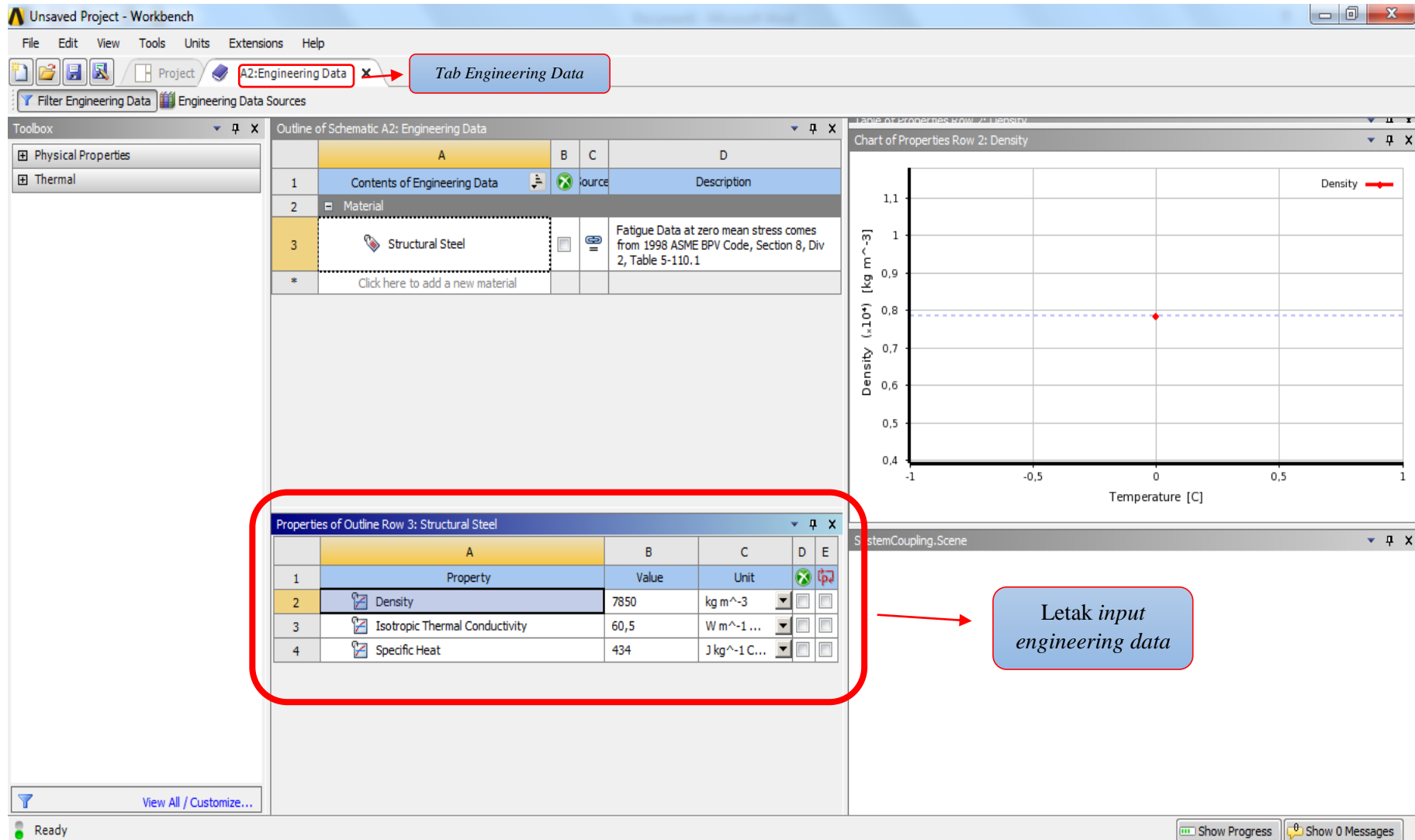
Kemudian membawa analisis *transient thermal* ke *Project Schematic*.



3. Memasukkan *Engineering Data* pada Nomor 2 Tab *Project Analisis Transient Thermal*.

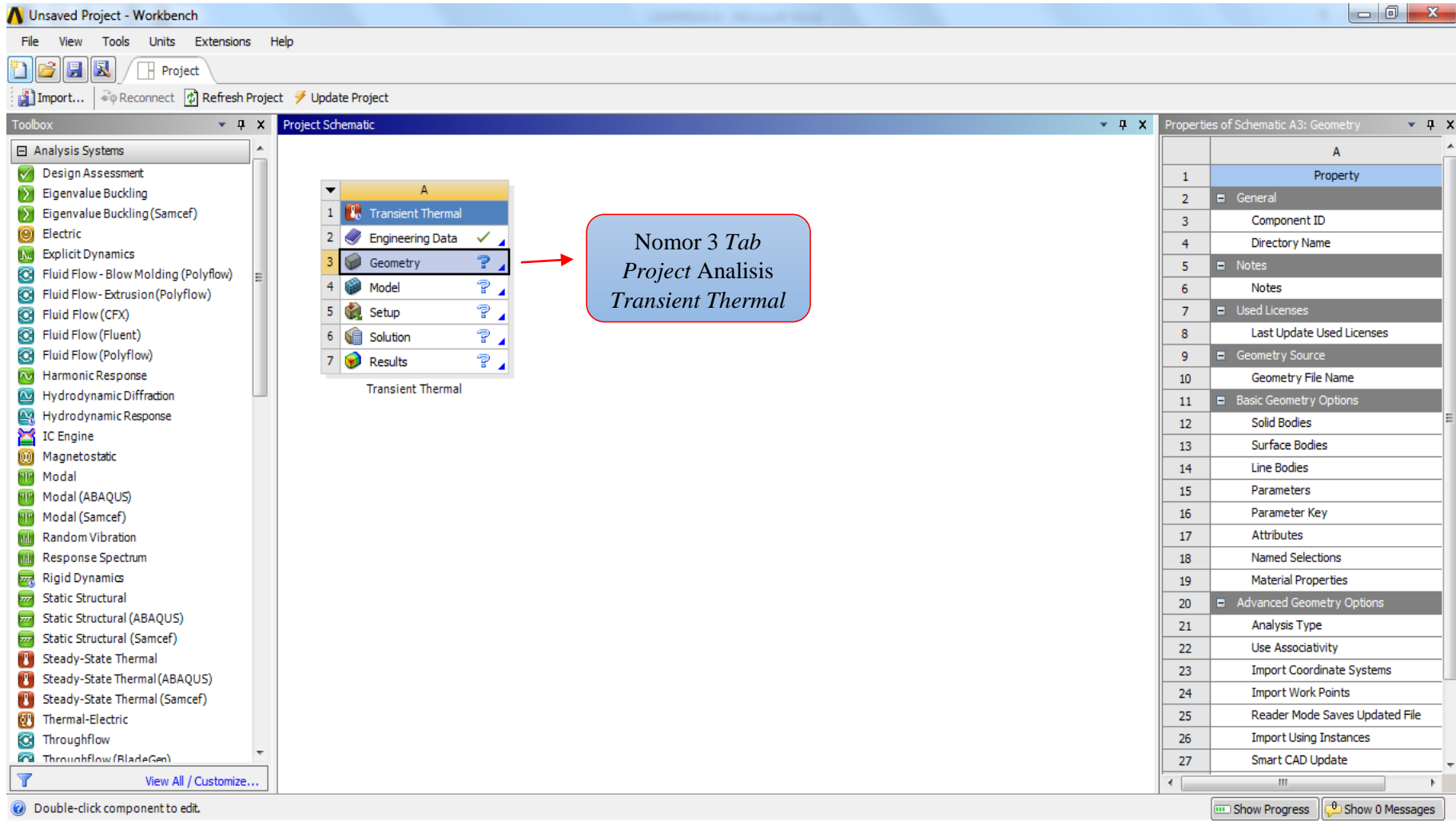


Data yang dimasukkan yaitu berupa data-data dasar sifat konstruksi yang akan dianalisis.

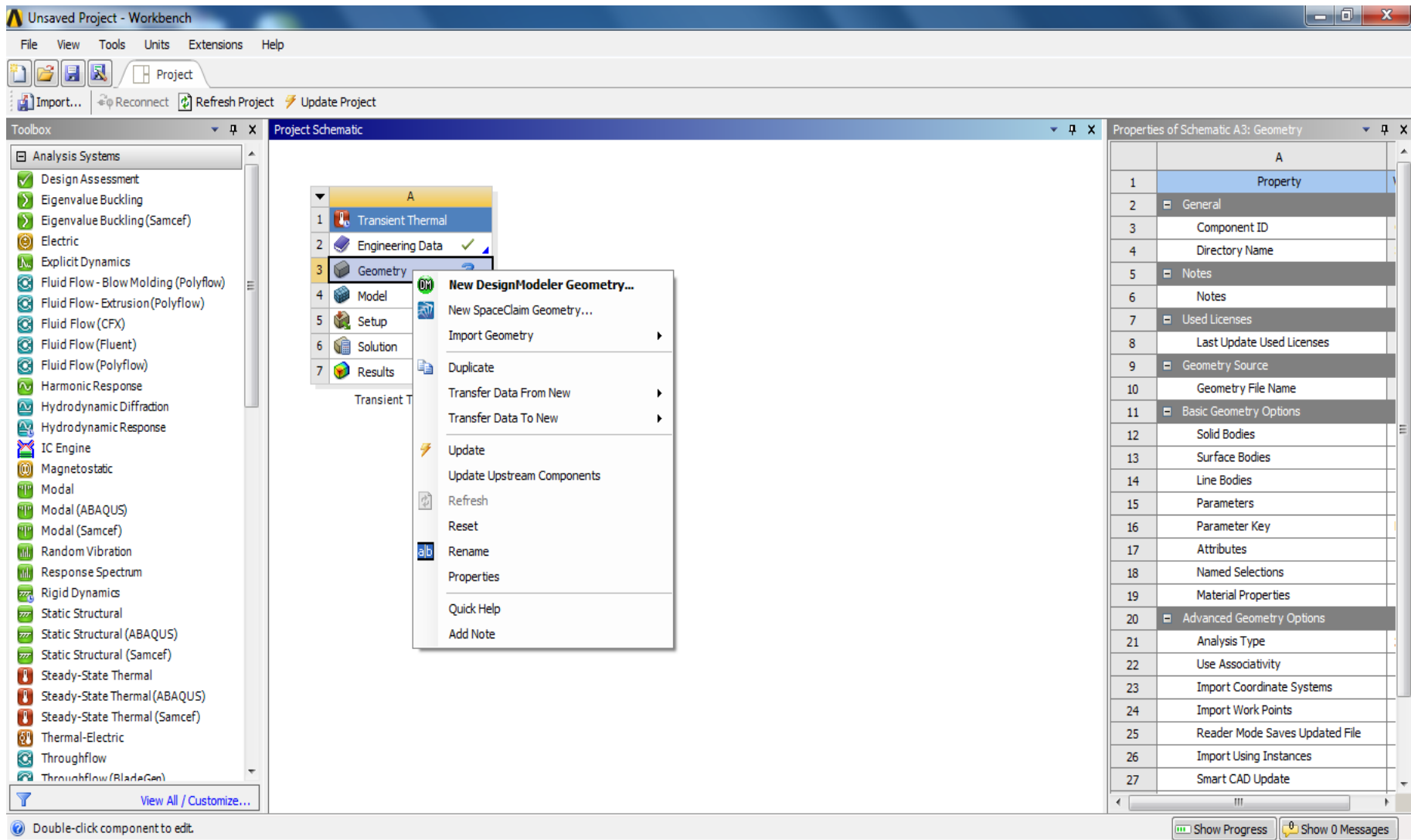


Data tersebut meliputi massa jenis (*density*), konduktivitas thermal isotropik (*isotropic thermal conductivity*), dan *specific heat*. Satuan data yang akan dimasukkan dapat disesuaikan dengan pilihan yang telah tersedia di ANSYS. Setelah memasukkan data, tutup *tab engineering data*.

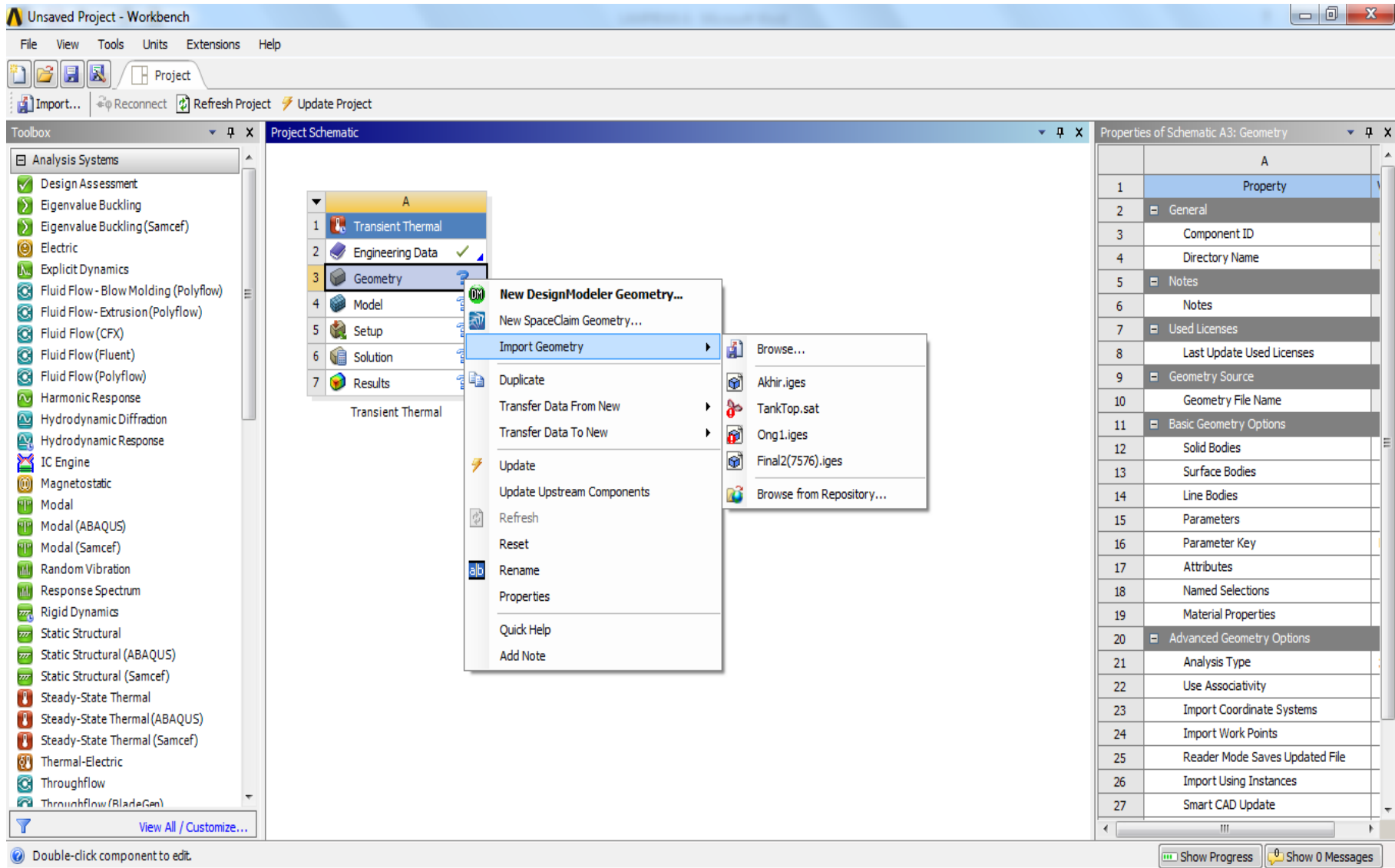
4. Memasukkan Data Geometri pada Nomor 3 Tab Project Analisis *Transient Thermal*.



Langkah awal yang dilakukan yaitu mengklik kanan nomor 3 (*Geometry*),



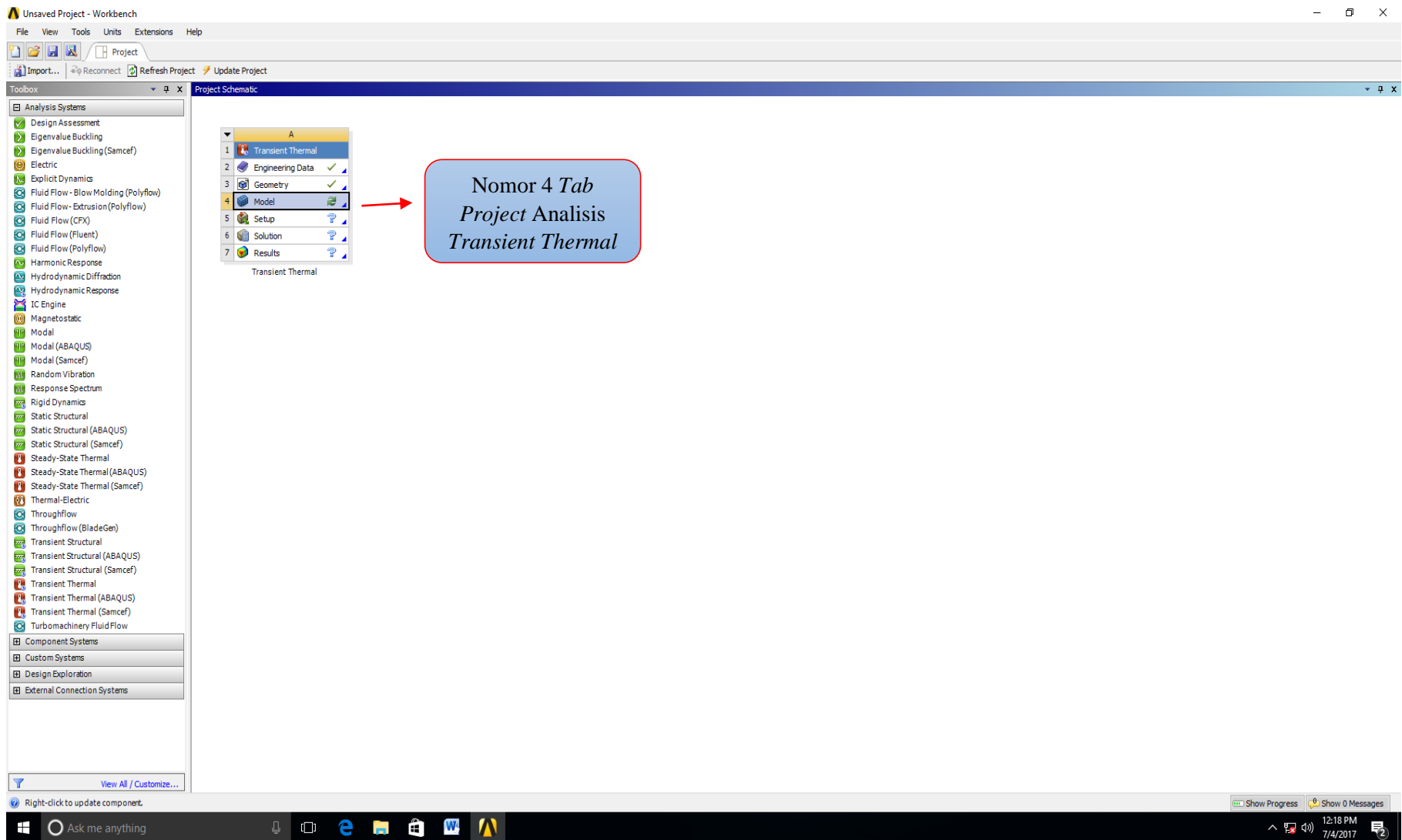
Kemudian memilih *import geometry* dan memasukkan data yang akan dianalisis.



Pada umumnya, jenis data yang dimasukkan memiliki ekstensi .sat atau .iges yang telah ditentukan pada tahap pemodelan di AutoCad.

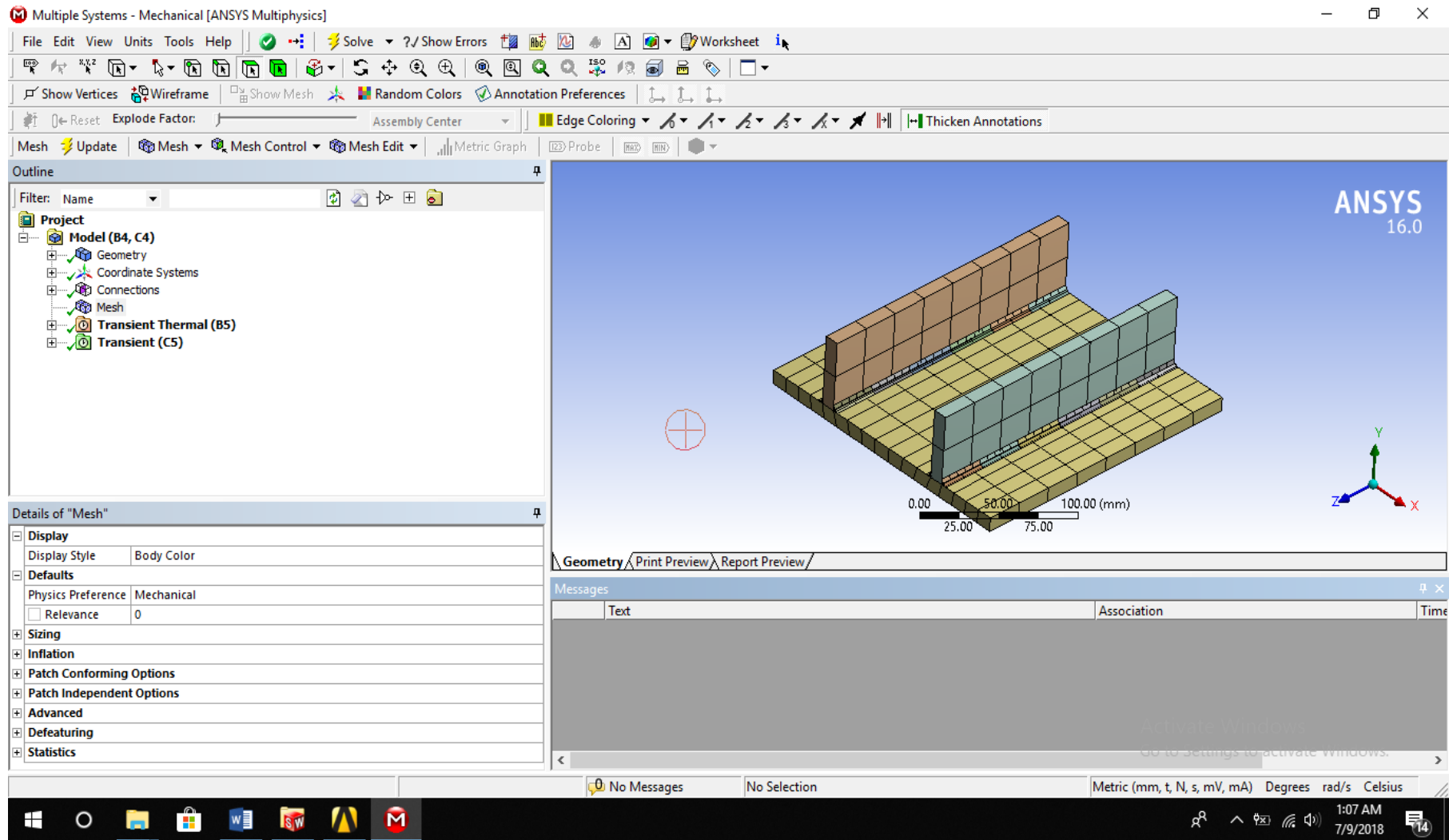


## 5. Membuka Data yang telah dimasukkan.

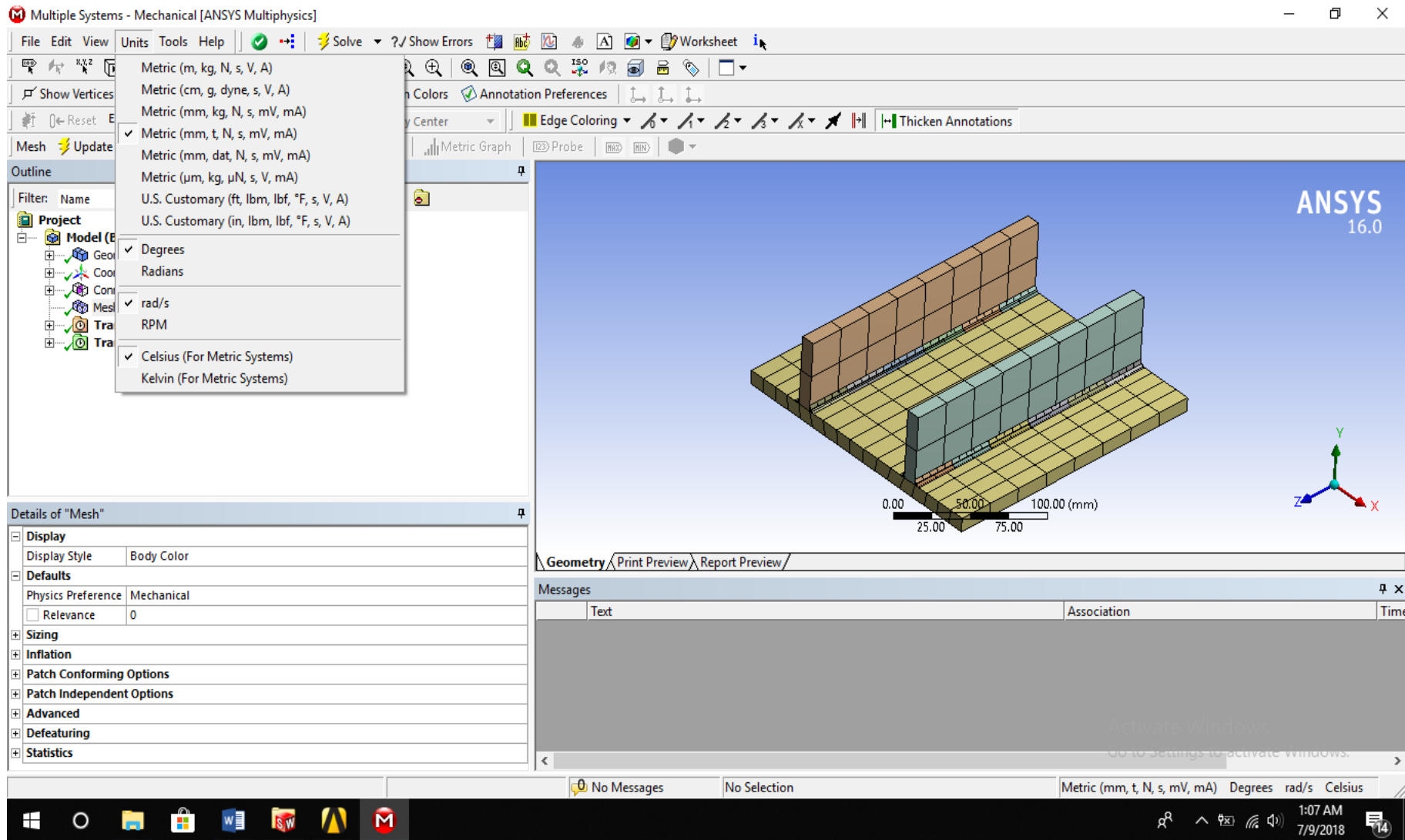


Cara untuk membuka data yang telah dimasukkan yaitu mengklik dua kali pada nomor 4 tab project analisis transient thermal.

## 6. Tampilan *Mechanical* [ANSYS Multiphysics].

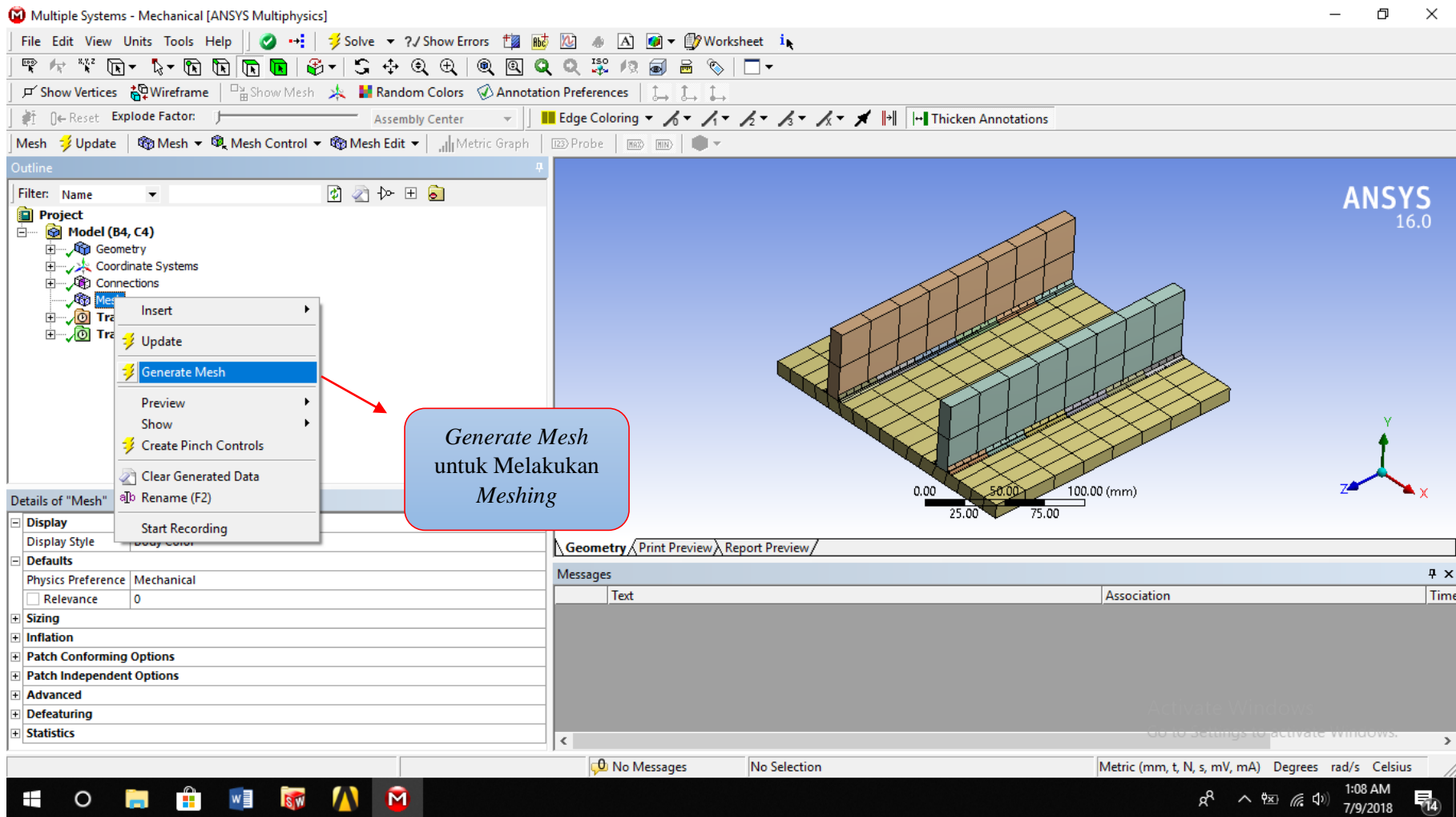


## 7. Menentukan Unit Satuan yang akan digunakan.

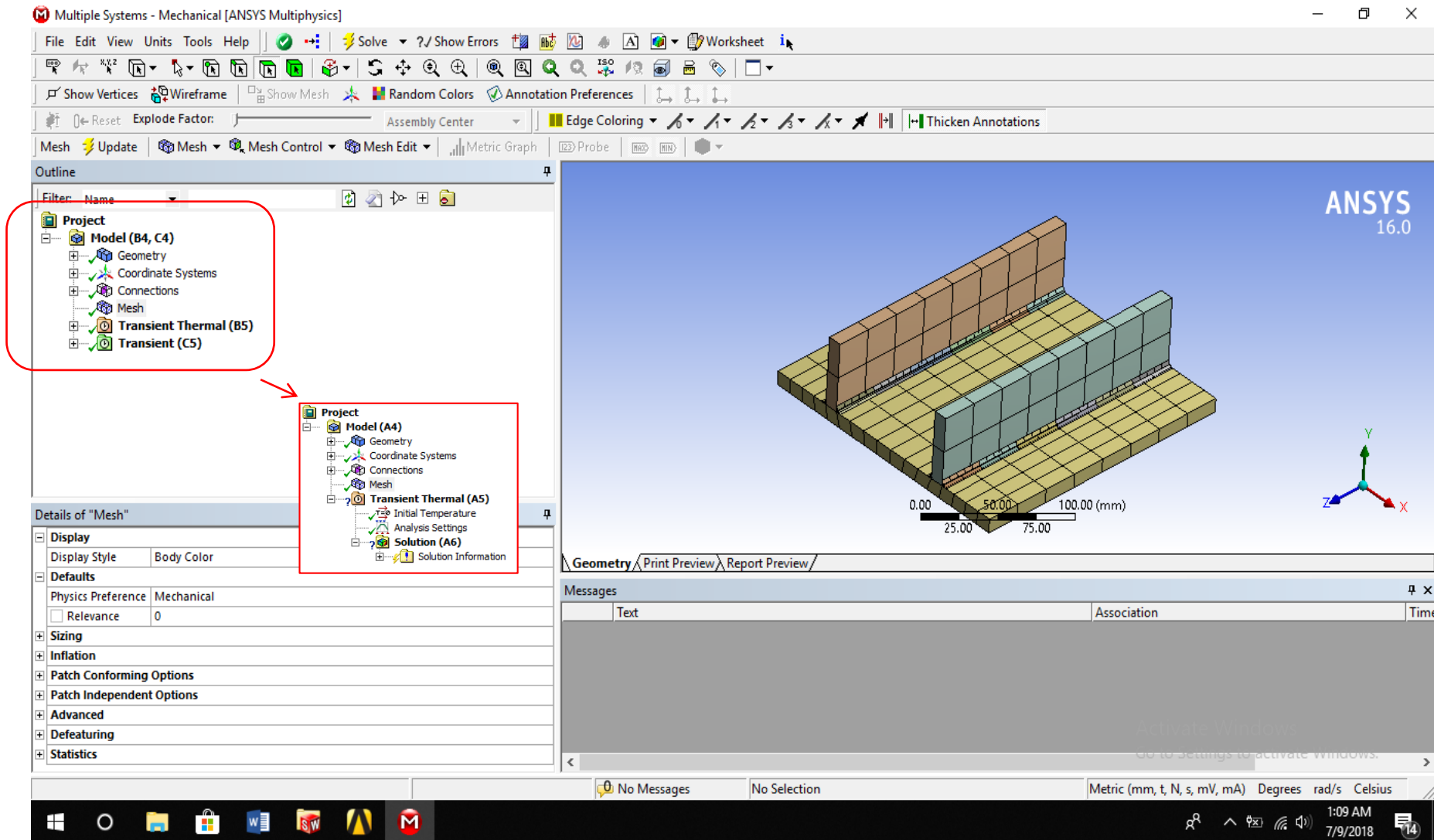


Cara menentukan unit satuan yang akan digunakan dalam analisis yaitu mengklik *tab menu "Units"*.

## 8. Melakukan *Meshing*.

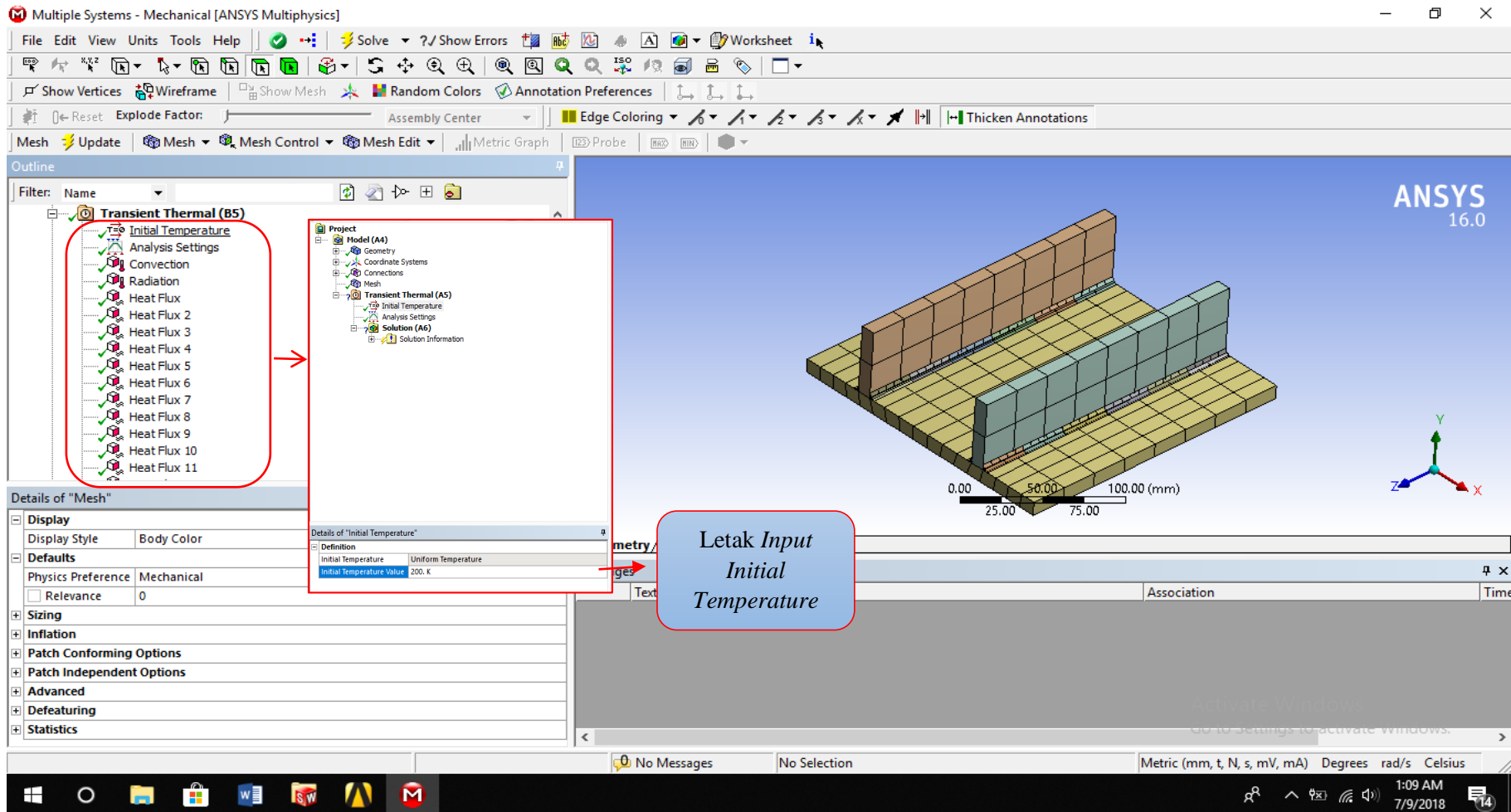


*Meshing* dilakukan dengan cara mengklik *Mesh*, lalu *Generate Mesh*.



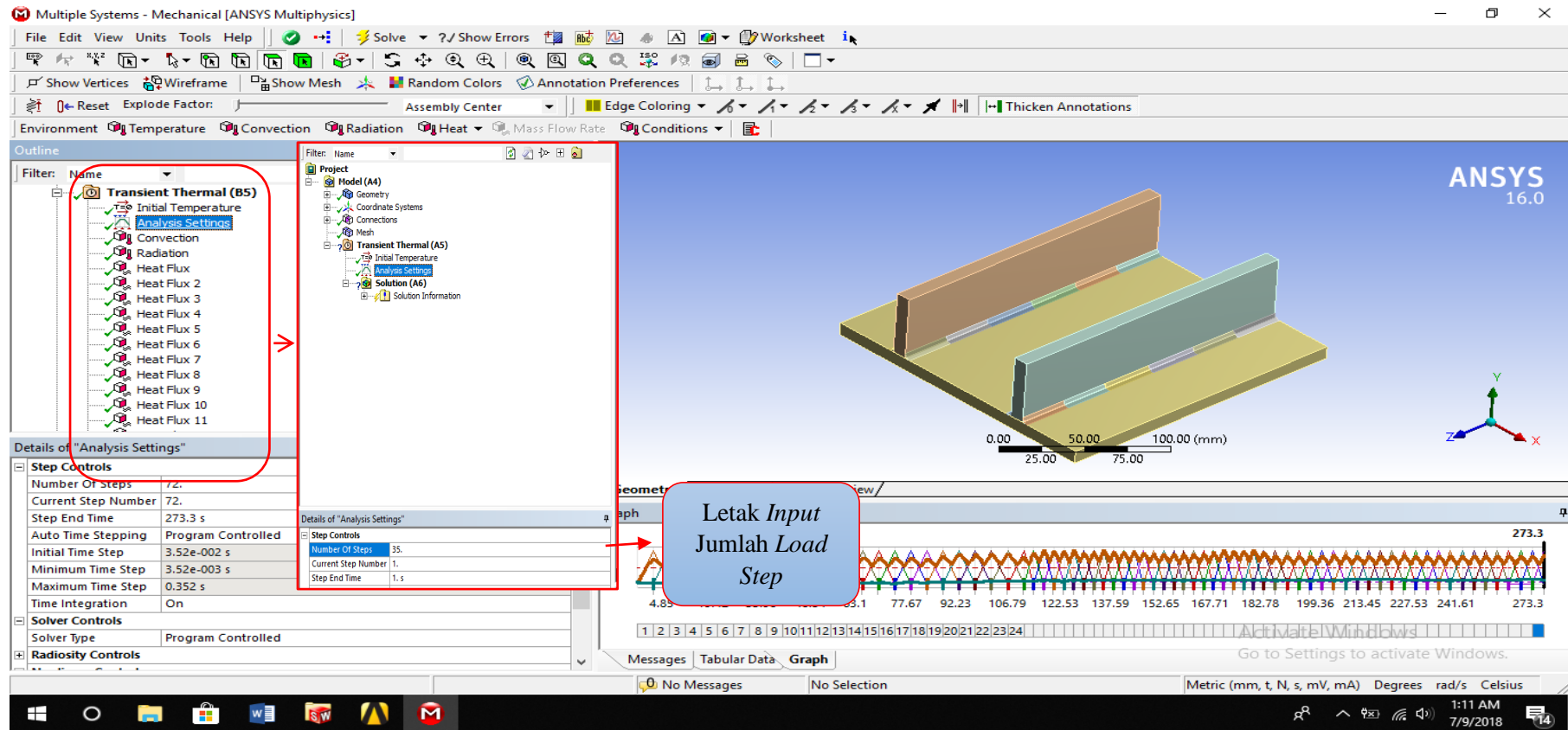
Meshing dianggap berhasil jika tanda halilintar disamping Mesh telah berubah menjadi tanda centang.

## 9. Memasukkan *Initial Temperature*.



Cara memasukkan *initial temperature* yaitu mengklik *initial temperature* yang terdapat pada *outline*, kemudian nilai suhu dimasukkan pada *detail*, tepatnya di *initial temperature value*.

## 10. Memasukkan Jumlah *Load Step*.



Jumlah *load step* yang dimasukkan bergantung pada hitungan yang telah dilakukan, dan masing-masing *load step* memiliki nilai parameter pengelasan (*end time*, *convection* dan *heat flux*) yang berbeda satu sama lain. Perbedaan tersebut dikarenakan analisis yang dilakukan ialah analisis *transient* berupa simulasi pengelasan. Sehingga, untuk menghasilkan animasi serta hasil analisis yang akurat, hal tersebut haruslah dilakukan.

## 11. Memasukkan Nilai *End Time* masing-masing *Load Step*.

The screenshot displays the ANSYS 16.0 interface for a transient thermal analysis. The 'Analysis Settings' panel is open, showing the 'Step Controls' section with the following parameters:

Parameter	Value
Number Of Steps	72
Current Step Number	72
Step End Time	273.3 s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Initial Time Step	3.52e-002 s
Minimum Time Step	3.52e-003 s
Maximum Time Step	0.352 s
Time Integration	On
Solver Type	Program Controlled

The 'Tabular Data' window on the right shows a list of steps and their corresponding end times in seconds:

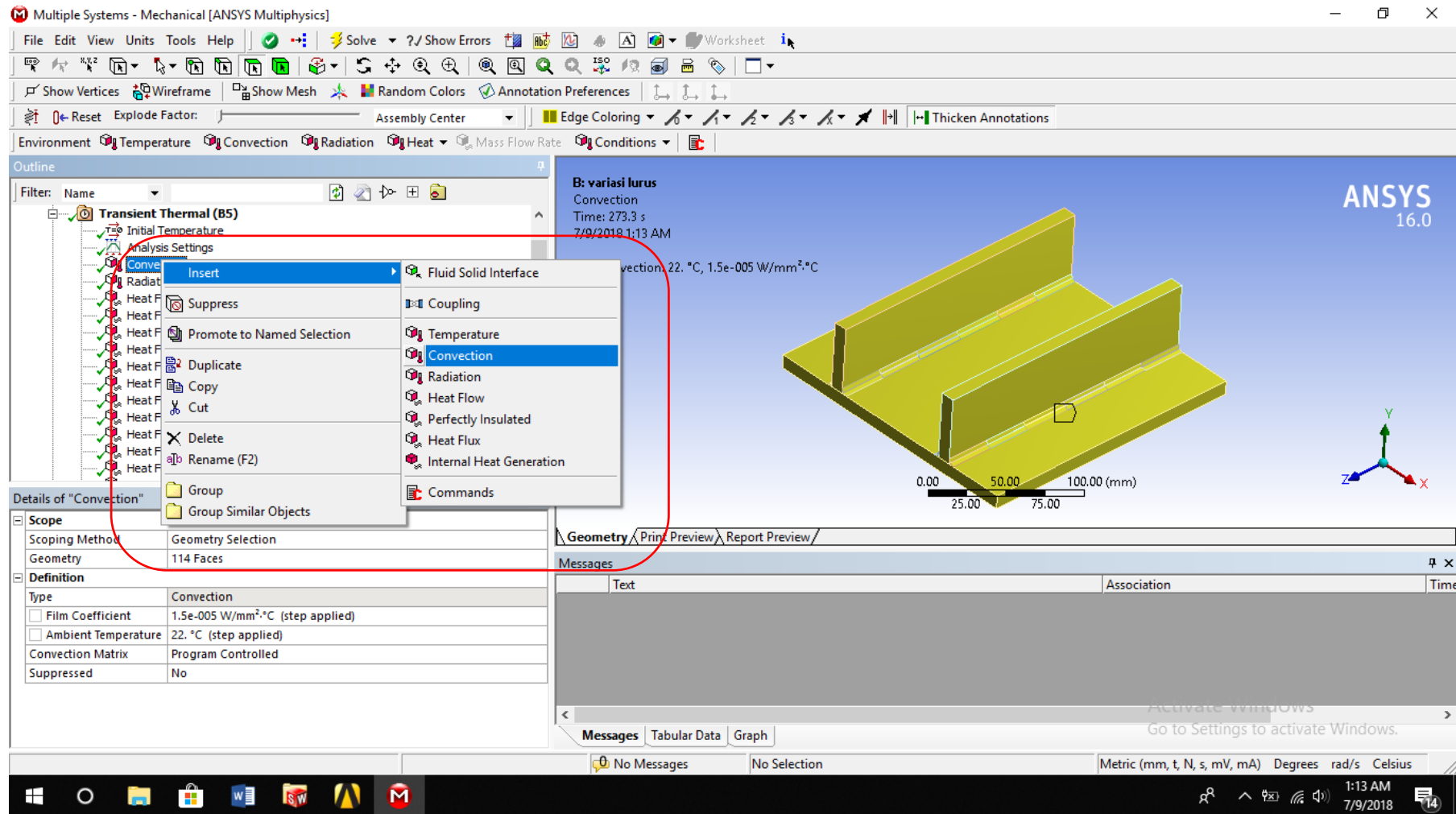
Steps	End Time [s]
1	4.85
2	9.71
3	14.56
4	19.42
5	24.27
6	29.13
7	33.98
8	38.83
9	43.69
10	48.54
11	53.4
12	58.25
13	63.1
14	67.96
15	72.81
16	77.67
17	82.52
18	87.38
19	92.23
20	97.08
21	101.94
22	106.79
23	111.65
24	116.5
25	119.51
26	122.53
27	125.54
28	128.55
29	131.56

A callout box with the text "Letak Input Nilai End Time" points to the 'End Time' column in the table. The main 3D model shows a mechanical assembly with a scale bar from 0.00 to 100.00 mm.

Nilai *end time* diperoleh dari perhitungan parameter pengelasan.

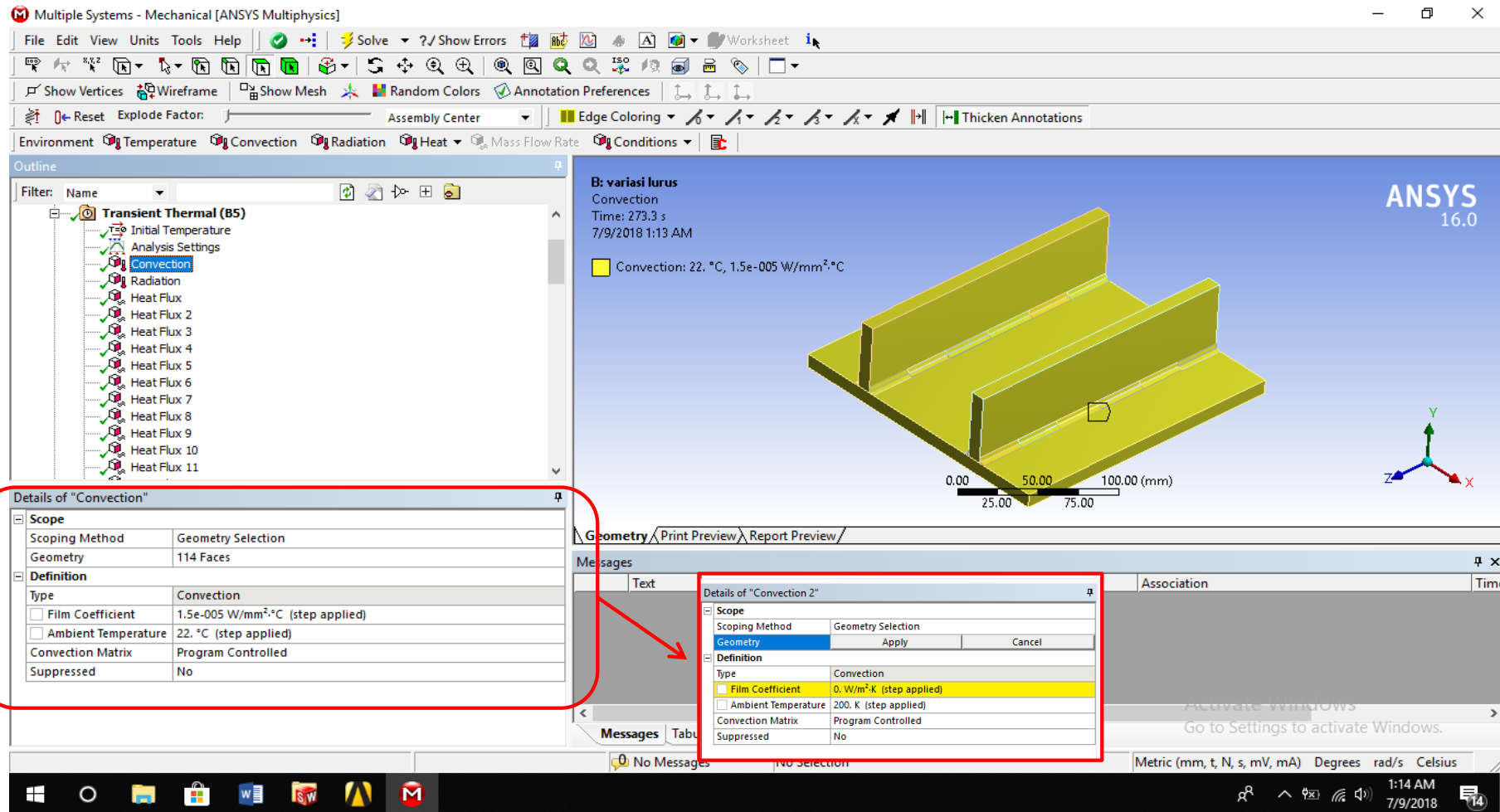


## 12. Memasukkan Nilai Konveksi.

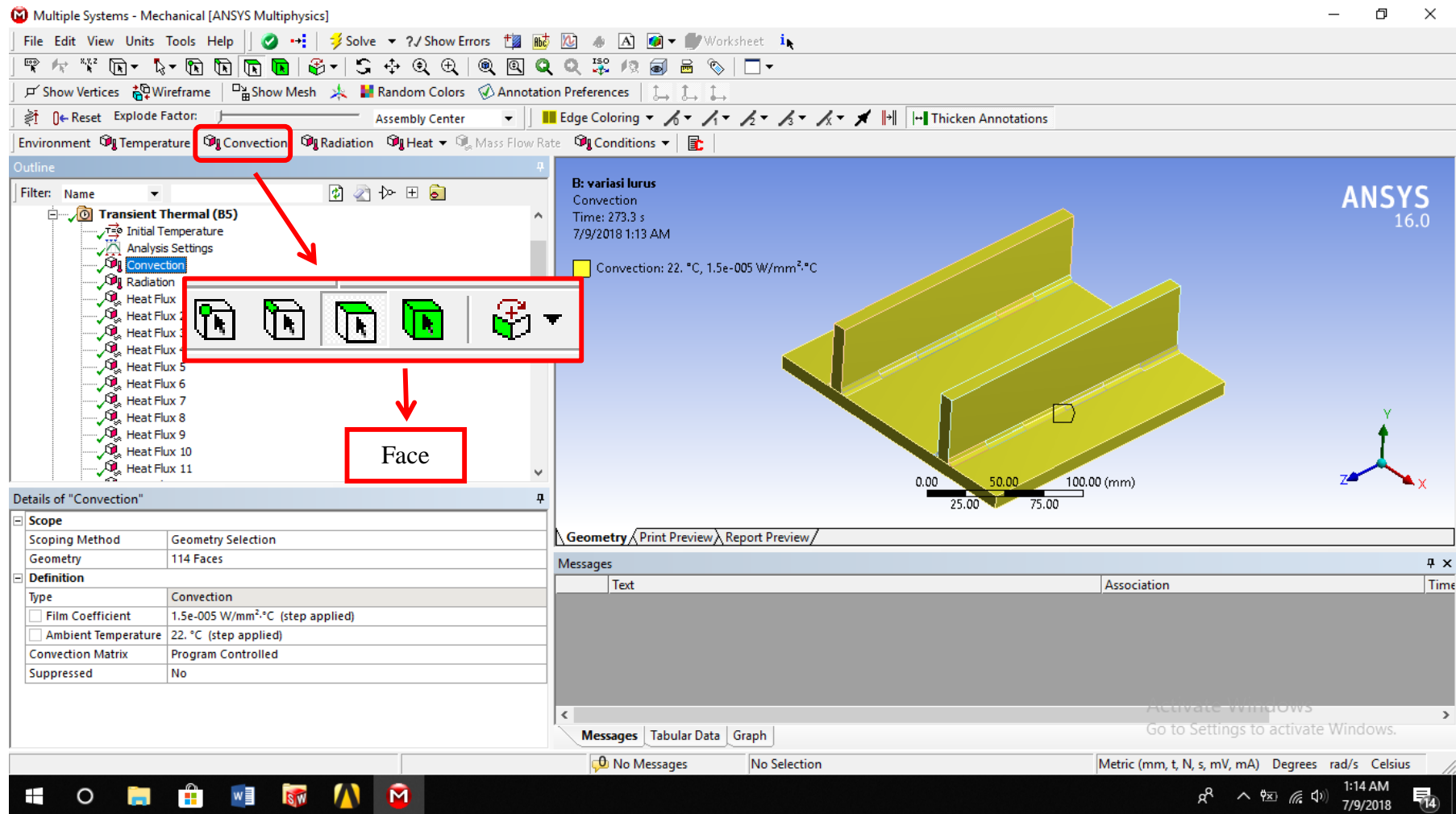


Cara memasukkan nilai konveksi yaitu mengklik kanan *Transient Thermal* pada *outline*, lalu pilih *insert*, kemudian *convection*.

### 13. Tampilan *Tab* Detail Konveksi.

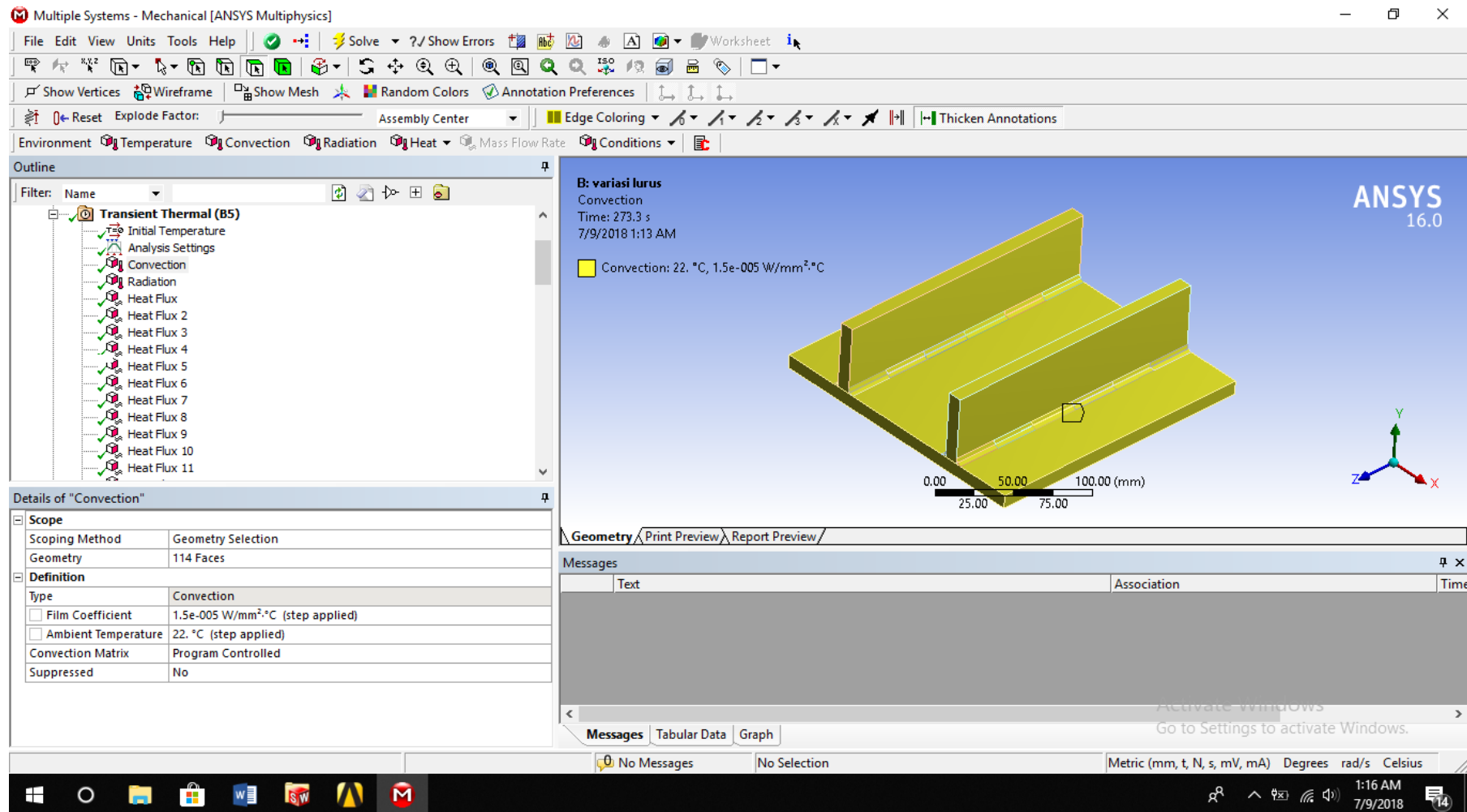


Ketika memasukkan nilai konveksi, parameter yang digunakan ialah *Film Coefficient* sebesar  $15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dan *Ambient Temperature* sebesar  $22^\circ \text{C}$ . Setelah memasukkan parameter konveksi, langkah selanjutnya ialah mengaplikasikan parameter tersebut di geometri yang telah ditentukan.



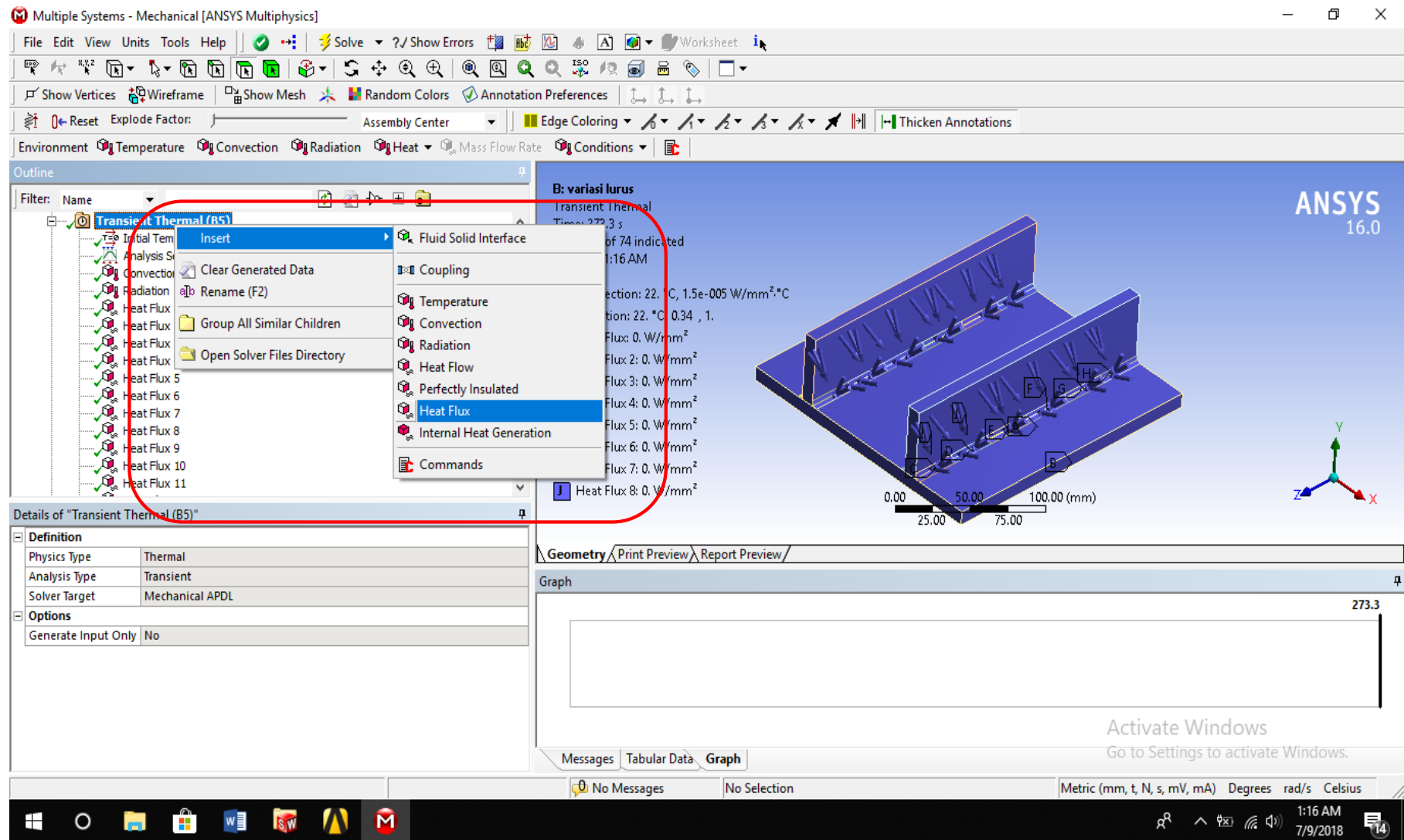
Jenis pemilihan geometri yang dilakukan dalam pengaplikasian konveksi ialah *Face*, atau dapat langsung dilakukan pengetikan *hotkey* yaitu Ctrl+F.

#### 14. Tampilan Konstruksi Pasca Pengaplikasian Konveksi.



Input konveksi dikatakan berhasil jika tanda tanya disamping *convection* berubah menjadi tanda centang.

## 15. Memasukkan Nilai *Heat Flux*.



Cara memasukkan nilai konveksi yaitu mengklik kanan *Transient Thermal (A5)* pada *outline*, lalu pilih *insert*, kemudian *heat flux*.

## 16. Tampilan Tab Detail Heat Flux.

Multiple Systems - Mechanical [ANSYS Multiphysics]

File Edit View Units Tools Help

Environment Temperature Convection Radiation Heat Mass Flow Rate Conditions

Outline

Filter: Name

Transient Thermal (B5)

- Initial Temperature
- Analysis Settings
- Convection
- Radiation
- Heat Flux
- Heat Flux 2
- Heat Flux 3
- Heat Flux 4
- Heat Flux 5
- Heat Flux 6
- Heat Flux 7
- Heat Flux 8
- Heat Flux 9
- Heat Flux 10
- Heat Flux 11

B: variasi lurus

Heat Flux

Time: 273.3 s

7/9/2018 1:17 AM

Heat Flux: 0. W/mm<sup>2</sup>

ANSYS 16.0

0.00 25.00 50.00 75.00 100.00 (mm)

Details of "Heat Flux"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face

Definition	
Type	Heat Flux
Magnitude	Tabular Data
Suppressed	No

Details of "Heat Flux"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection

Definition	
Type	Heat Flux
Magnitude	Tabular Data
Suppressed	No

Graph

273.3

182.78 199.36 213.45 227.53 241.61 273.3

Import... Export... Constant **Tabular (Time)** Function

1:17 AM 7/9/2018

Ketika memasukkan *heat flux*, jenis *input* diubah terlebih dahulu menjadi *Tabular (Time)*, karena analisis yang dilakukan ialah *transient thermal*.

Multiple Systems - Mechanical [ANSYS Multiphysics]

File Edit View Units Tools Help Solve ?/ Show Errors Worksheet

Show Vertices Wireframe Show Mesh Random Colors Annotation Preferences

Environment Temperature Convection Radiation Heat Mass Flow Rate Conditions

Outline

Filter: Name

- Transient Thermal (B5)
  - Initial Temperature
  - Analysis Settings
  - Convection
  - Radiation
  - Heat Flux
  - Heat Flux 2
  - Heat Flux 3
  - Heat Flux 4
  - Heat Flux 5
  - Heat Flux 6
  - Heat Flux 7
  - Heat Flux 8
  - Heat Flux 9
  - Heat Flux 10
  - Heat Flux 11

Details of "Heat Flux"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Heat Flux
Magnitude	Tabular Data
Suppressed	No

B: variasi lurus  
Heat Flux  
Time: 273.3 s  
7/9/2018 1:17 AM

Heat Flux: 0. W/mm<sup>2</sup>

ANSYS 16.0

0.00 50.00 100.00 (mm)

Tabular Data

Steps	Time [s]	Heat Flux [W/mm <sup>2</sup> ]
1	1	0.
2	1	4.85
3	2	9.71
4	3	14.56
5	4	19.42
6	5	24.27
7	6	29.13
8	7	33.98
9	8	38.83
10	9	43.69
11	10	48.54
12	11	53.4
13	12	58.25
14	13	63.1
15	14	67.96
16	15	72.81
17	16	77.67
18	17	82.52
19	18	87.38
20	19	92.23
21	20	97.08
22	21	101.94
23	22	106.79
24	23	111.65
25	24	116.5
26	25	119.51
27	26	122.53
28	27	125.54
29	28	128.55

Messages Tabular Data Graph

Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius

1:17 AM 7/9/2018

Letak Input Heat Flux

Activate Windows  
Go to Settings to activate Windows.

Setelah itu, nilai *heat flux* dimasukkan sesuai dengan hitungan yang telah ditentukan.

Multiple Systems - Mechanical [ANSYS Multiphysics]

File Edit View Units Tools Help

Solve ?/ Show Errors

Show Vertices Wireframe Show Mesh Random Colors Annotation Preferences

Environment Temperature **Convection** Radiation Heat Mass Flow Rate Conditions

Outline

Filter: Name

- Transient Thermal (85)
  - Initial Temperature
  - Analysis Settings
  - Convection
  - Radiation
  - Heat Flux
    - Heat Flux 2
    - Heat Flux 3
    - Heat Flux 4
    - Heat Flux 5
    - Heat Flux 6
    - Heat Flux 7
    - Heat Flux 8
    - Heat Flux 9
    - Heat Flux 10
    - Heat Flux 11

Details of "Heat Flux"

Scope

Scoping Method: Geometry Selection

Geometry: 1 Face

Definition

Type: Heat Flux

Magnitude: Tabular Data

Suppressed: No

B: variasi lur  
Heat Flux  
Time: 273.3 s  
7/9/2018 1:17

Heat Flux: 0. W/mm<sup>2</sup>

Body

0,00 100,00 (mm)  
50,00

Tabular Data

Steps	Time [s]	Heat Flux [W/mm <sup>2</sup> ]
1	1	0.
2	1	4.85
3	2	9.71
4	3	14.56
5	4	19.42
6	5	24.27
7	6	29.13
8	7	33.98
9	8	38.83
10	9	43.69
11	10	48.54
12	11	53.4
13	12	58.25
14	13	63.1
15	14	67.96
16	15	72.81
17	16	77.67
18	17	82.52
19	18	87.38
20	19	92.23
21	20	97.08
22	21	101.94
23	22	106.79
24	23	111.65
25	24	116.5
26	25	119.51
27	26	122.53
28	27	125.54
29	28	128.55

Geometry Print Preview Report Preview

Messages Tabular Data Graph

No Messages No Selection Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius

1:17 AM 7/9/2018

Jenis pemilihan geometri yang dilakukan dalam pengaplikasian konveksi ialah *Body*, atau dapat langsung dilakukan pengetikan *hotkey* yaitu Ctrl+B.



## 17. Tampilan Konstruksi Pasca Pengaplikasian *Heat Flux*.

The screenshot displays the ANSYS Multiphysics interface for a transient simulation. The main window shows a 3D model of a rectangular block with a heat flux vector field applied to its top surface. The heat flux is represented by blue arrows pointing downwards. The model is positioned on a coordinate system with X, Y, and Z axes. The dimensions of the block are indicated as 0.00, 25.00, 50.00, 75.00, and 100.00 (mm).

The Outline panel on the left shows the simulation setup, including Heat Flux 61 through Heat Flux 72, Solution (B6), and Transient (C5). The Details panel for "Multiple Selection" shows the following information:

Details of "Multiple Selection"	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
<b>Definition</b>	
Type	Heat Flux
Magnitude	Tabular Data
Suppressed	No

The Graph window displays a plot of heat flux values over time. The Y-axis represents heat flux magnitude, ranging from 0 to 515.92. The X-axis represents time in seconds, ranging from 4.85 to 273.3. The plot shows a sharp increase in heat flux at 273.3 seconds, reaching a value of 515.92. The status bar at the bottom indicates "Multiple Selection (72 Objects Selected)" and "No Messages".

*Input heat flux* dikatakan berhasil jika tanda tanya disamping *heat flux* berubah menjadi tanda centang.

## 18. Running Analysis Transient Thermal

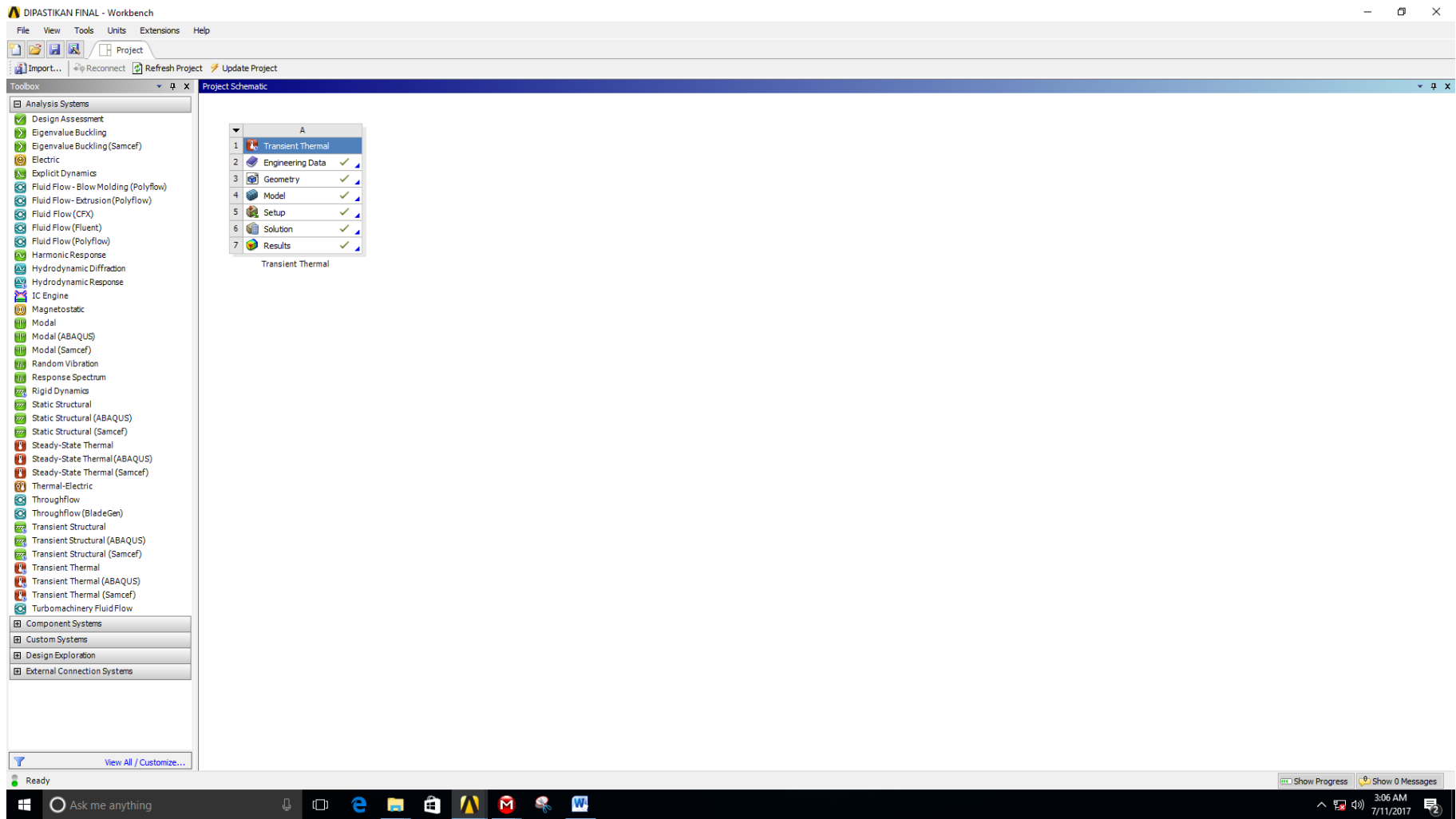
The screenshot displays the ANSYS 16.0 interface for a transient thermal analysis. The 'Outline' panel on the left shows a list of 'Heat Flux' results (61-72) and a 'Solution (B6)' entry. A context menu is open over 'Solution (B6)', with the path 'Insert' > 'Thermal' > 'Temperature' highlighted. The main window shows a 3D model of a mechanical assembly with a coordinate system and a scale bar. A graph at the bottom shows a single data point at 64.1 on the x-axis (representing time in seconds) and a y-axis representing temperature. The status bar at the bottom indicates 'Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius' and the system clock shows 1:20 AM on 7/9/2018.

Cara untuk melakukan *running* yaitu mengklik *Solution (A6)* pada *outline*, lalu klik *insert*, kemudian *thermal*, dan terakhir *temperature*.

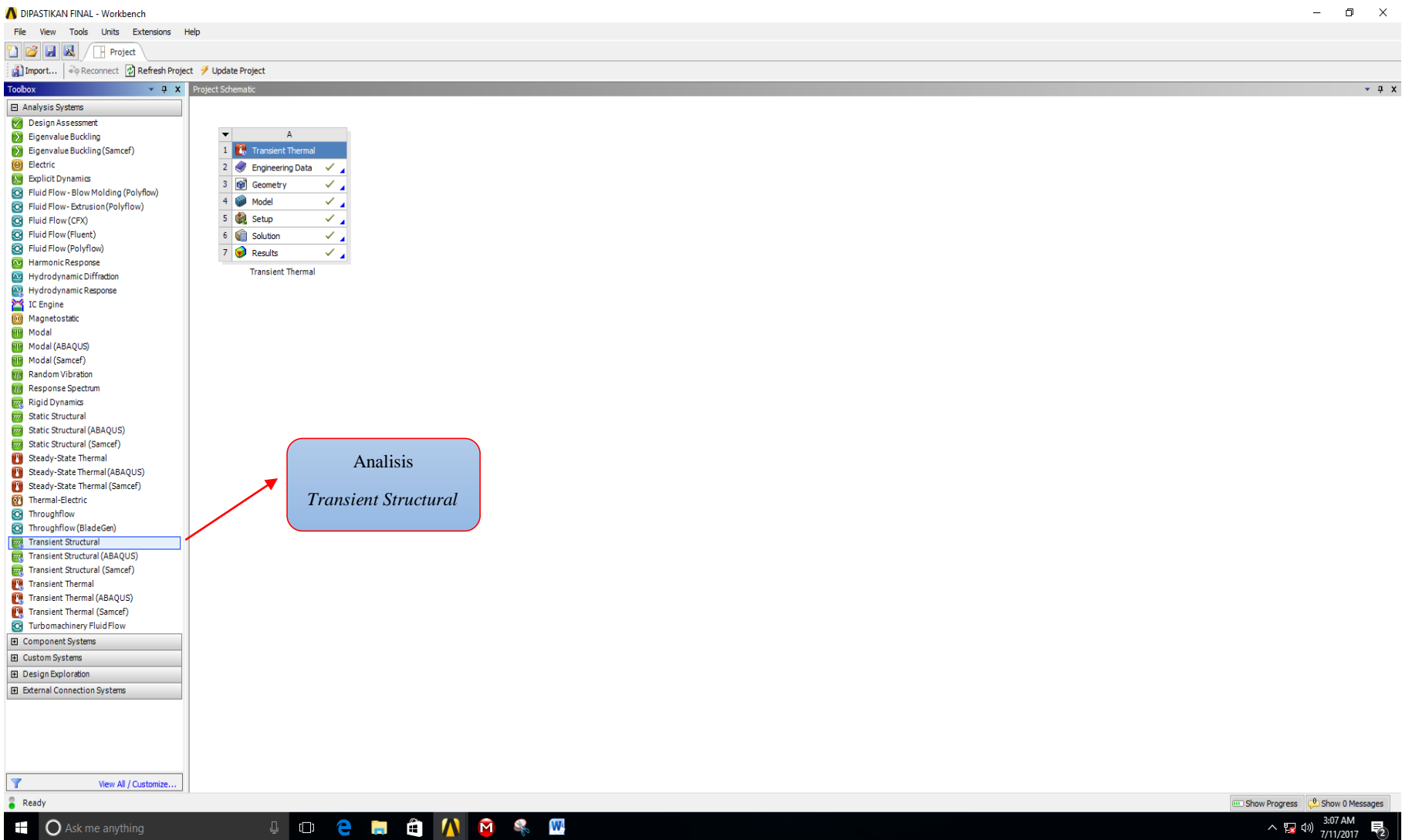
# **LAMPIRAN B**

**LANGKAH-LANGKAH ANALISIS *TRANSIENT*  
*STRUCTURAL***

# 1. Tampilan Awal ANSYS Workbench 16.0 Pasca Analisis *Transient Thermal*

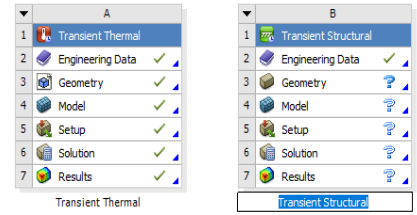


## 2. Memilih Jenis Analisis “*Transient Structural*”.

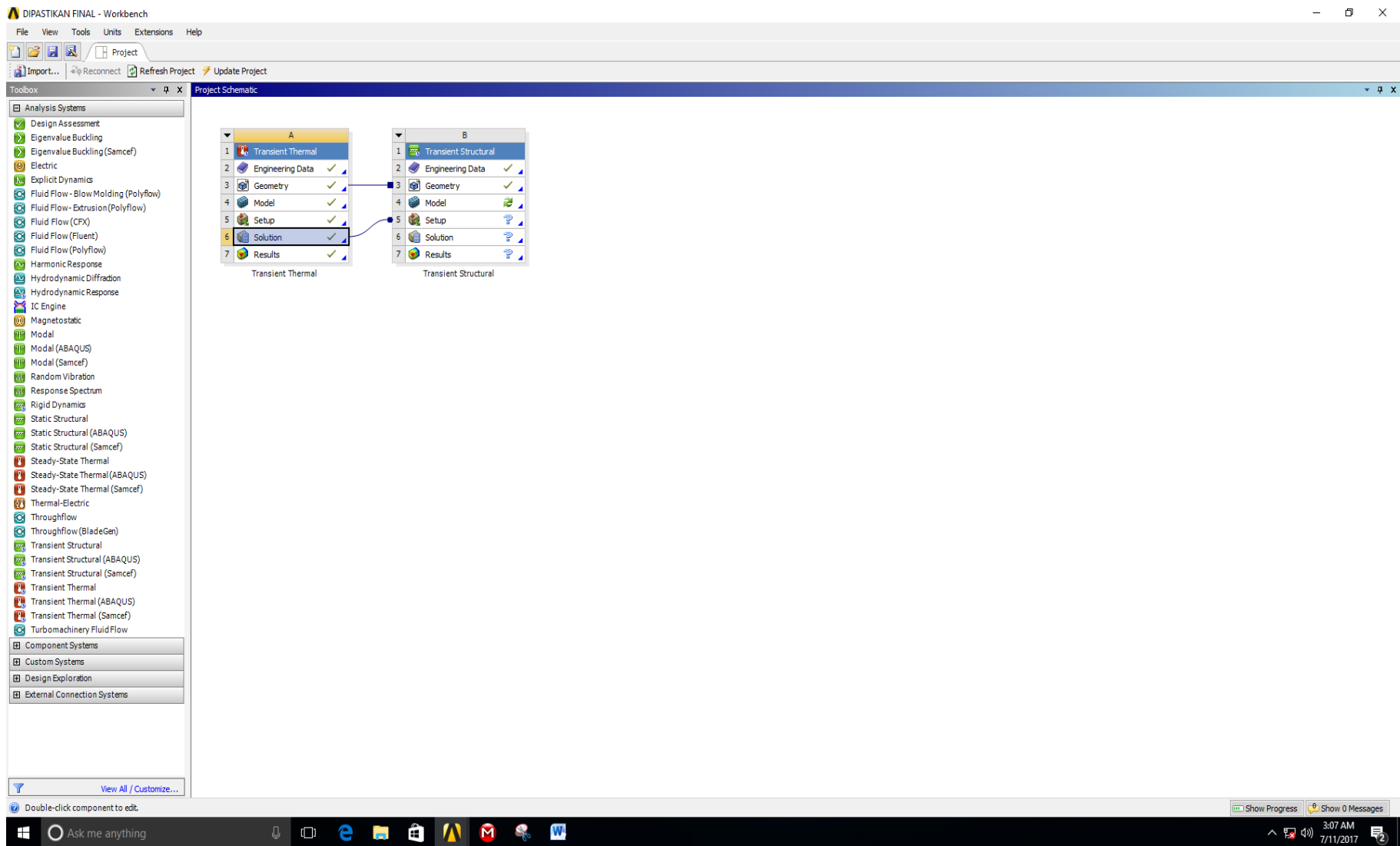


Kemudian membawa analisis *transient structural* ke *Project Schematic*.

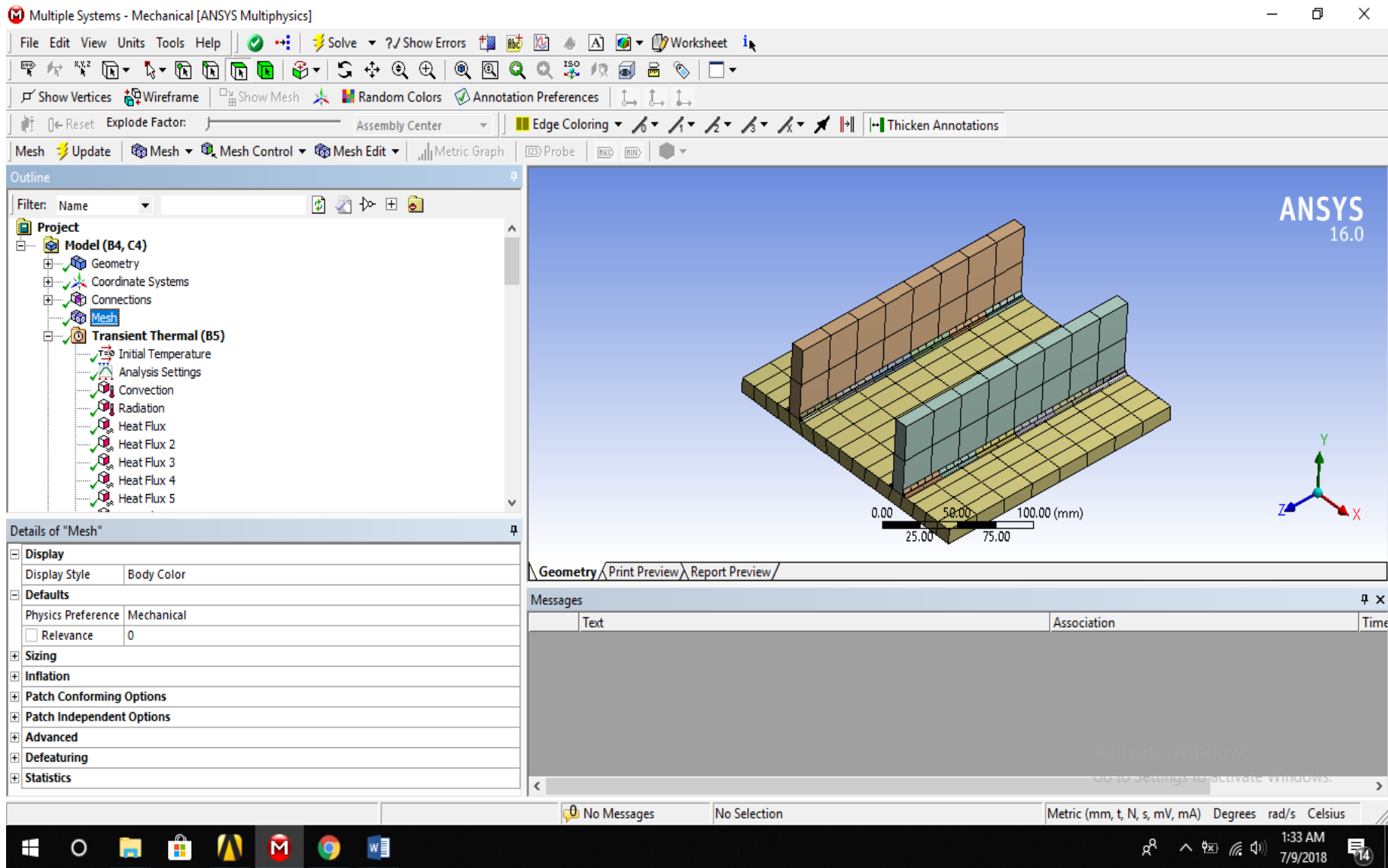
- Toolbox
- Analysis Systems
    - Design Assessment
    - Eigenvalue Buckling
    - Eigenvalue Buckling (Samcef)
    - Electric
    - Explicit Dynamics
    - Fluid Flow - Blow Molding (Polyflow)
    - Fluid Flow - Extrusion (Polyflow)
    - Fluid Flow (CFX)
    - Fluid Flow (Fluent)
    - Fluid Flow (Polyflow)
    - Harmonic Response
    - Hydrodynamic Diffraction
    - Hydrodynamic Response
    - IC Engine
    - Magnetostatic
    - Modal
    - Modal (ABAQUS)
    - Modal (Samcef)
    - Random Vibration
    - Response Spectrum
    - Rigid Dynamics
    - Static Structural
    - Static Structural (ABAQUS)
    - Static Structural (Samcef)
    - Steady-State Thermal
    - Steady-State Thermal (ABAQUS)
    - Steady-State Thermal (Samcef)
    - Thermal-Electric
    - Throughflow
    - Throughflow (BladeGen)
    - Transient Structural
    - Transient Structural (ABAQUS)
    - Transient Structural (Samcef)
    - Transient Thermal
    - Transient Thermal (ABAQUS)
    - Transient Thermal (Samcef)
    - Turbomachinery FluidFlow
  - Component Systems
  - Custom Systems
  - Design Exploration
  - External Connection Systems
- View All / Customize...



### 3. Menghubungkan Data Geometri dan *Solution Analisis Transient Thermal* ke Analisis *Transient Structural*

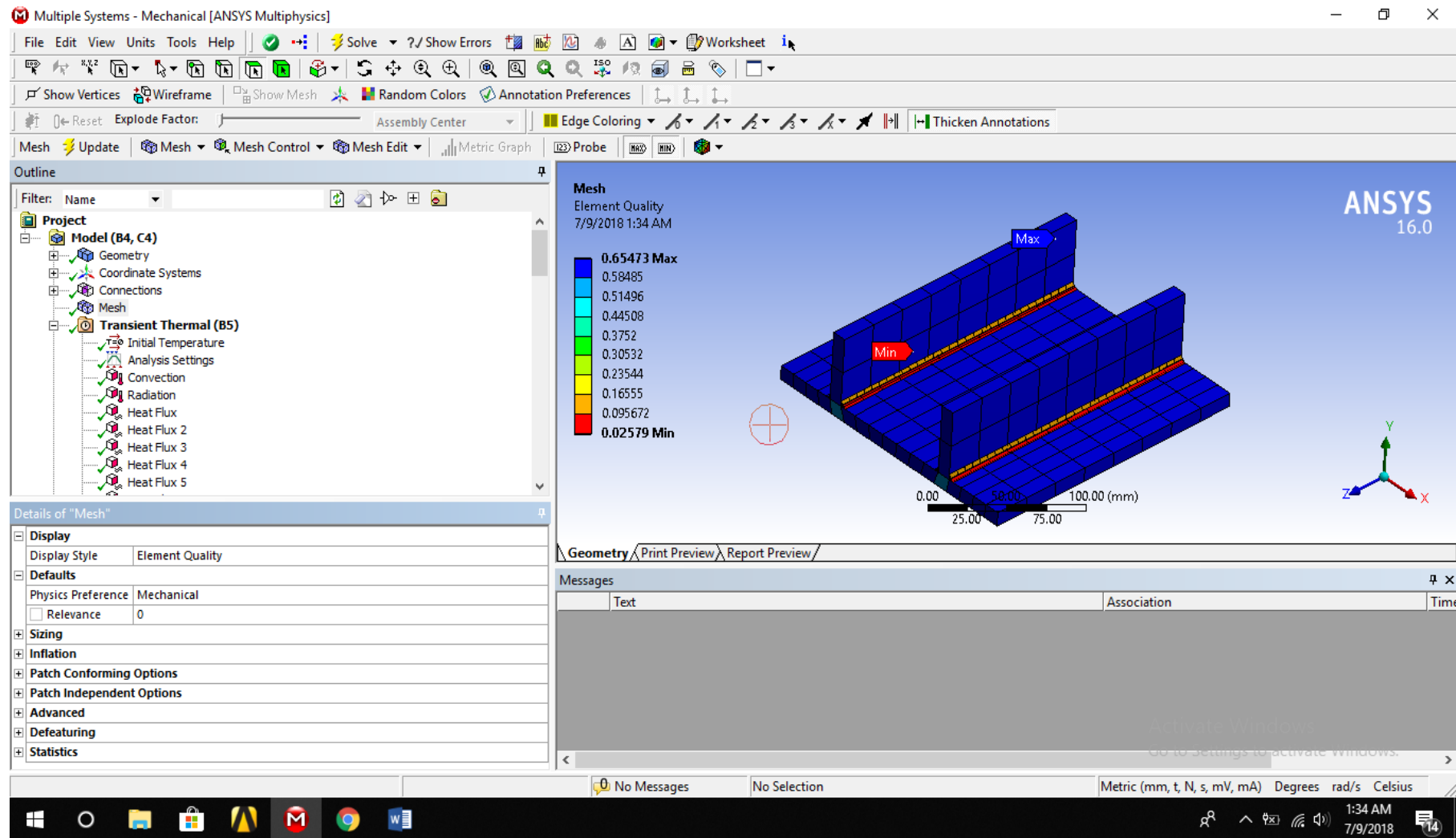


#### 4. Membuka Data yang telah dimasukkan dan Melakukan *Meshing*





## 5. Tampilan Konstruksi setelah *Meshing*



Pada dasarnya, *meshing* yang dilakukan masih sama seperti yang dilakukan di analisis *transient thermal*.

## 6. Memasukkan Data *Load Steps*

The screenshot displays the ANSYS 16.0 Multiphysics interface. The main window shows a 3D model of a mechanical assembly with a coordinate system (X, Y, Z) and dimensions (0.00, 25.00, 50.00, 75.00, 100.00 mm). The left sidebar contains the Outline tree, showing a Transient (C5) analysis with various settings. The bottom panel shows the Details of "Analysis Settings" for the Transient (C5) analysis, with the following parameters:

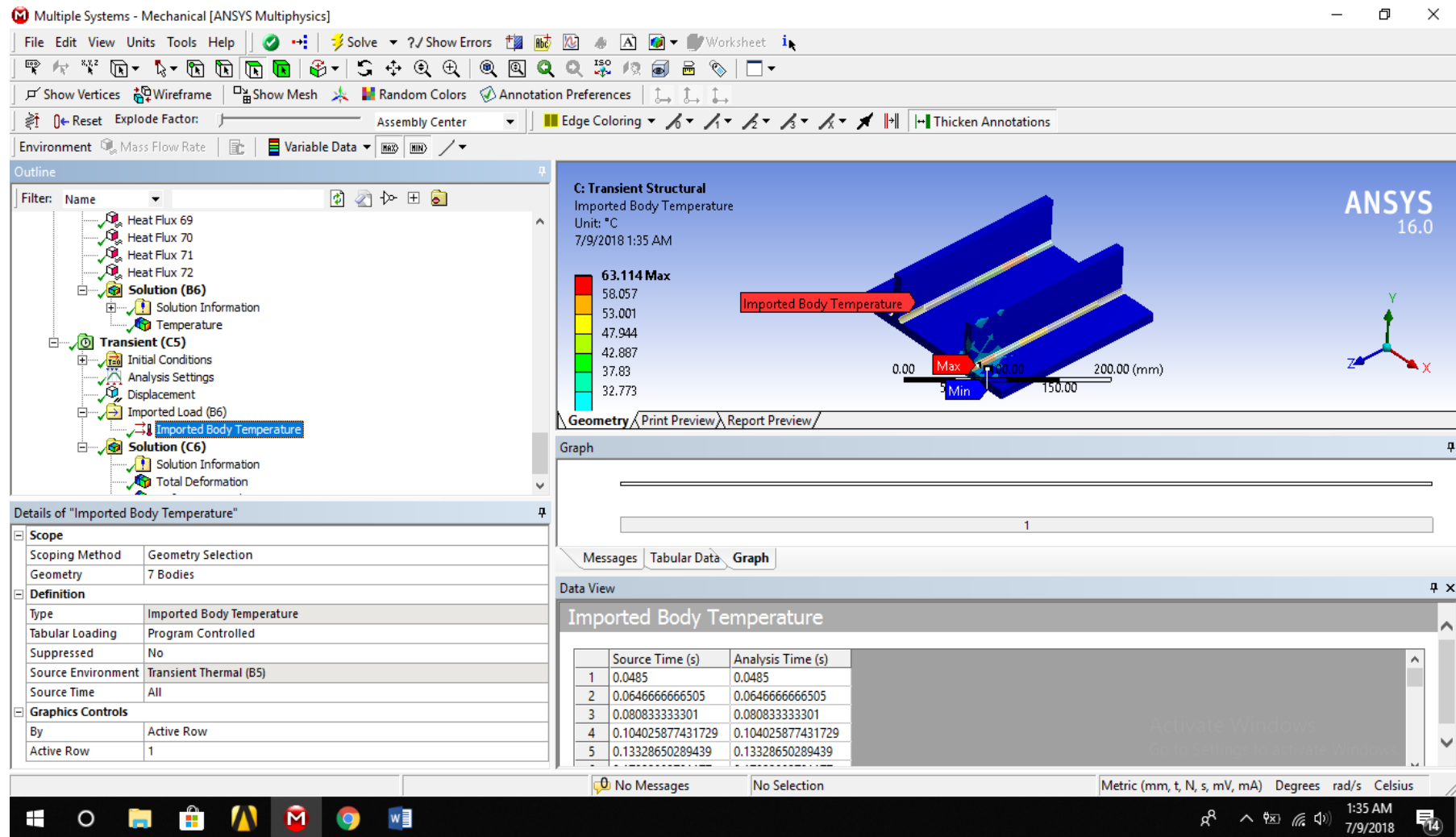
Details of "Analysis Settings"	
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1
Current Step Number	1
Step End Time	273.3 s
Auto Time Stepping	On
Define By	Time
Initial Time Step	0.1 s
Minimum Time Step	0.1 s
Maximum Time Step	5. s
Time Integration	On
<b>Solver Controls</b>	
Solver type	Program Controlled

The graph below the settings shows a single step (1) with a value of 273.3. The graph has a y-axis ranging from -0.5 to 0.5 and an x-axis with a value of 273.3. The graph is titled "Graph" and has tabs for "Messages", "Tabular Data", and "Graph".

Baris yang perlu diisi ialah:

- ➔ Number of steps : 1
- ➔ Step end time : 5
- ➔ Initial time step : 0,1
- ➔ Minimum time step : 0,1
- ➔ Maximum time step : 5

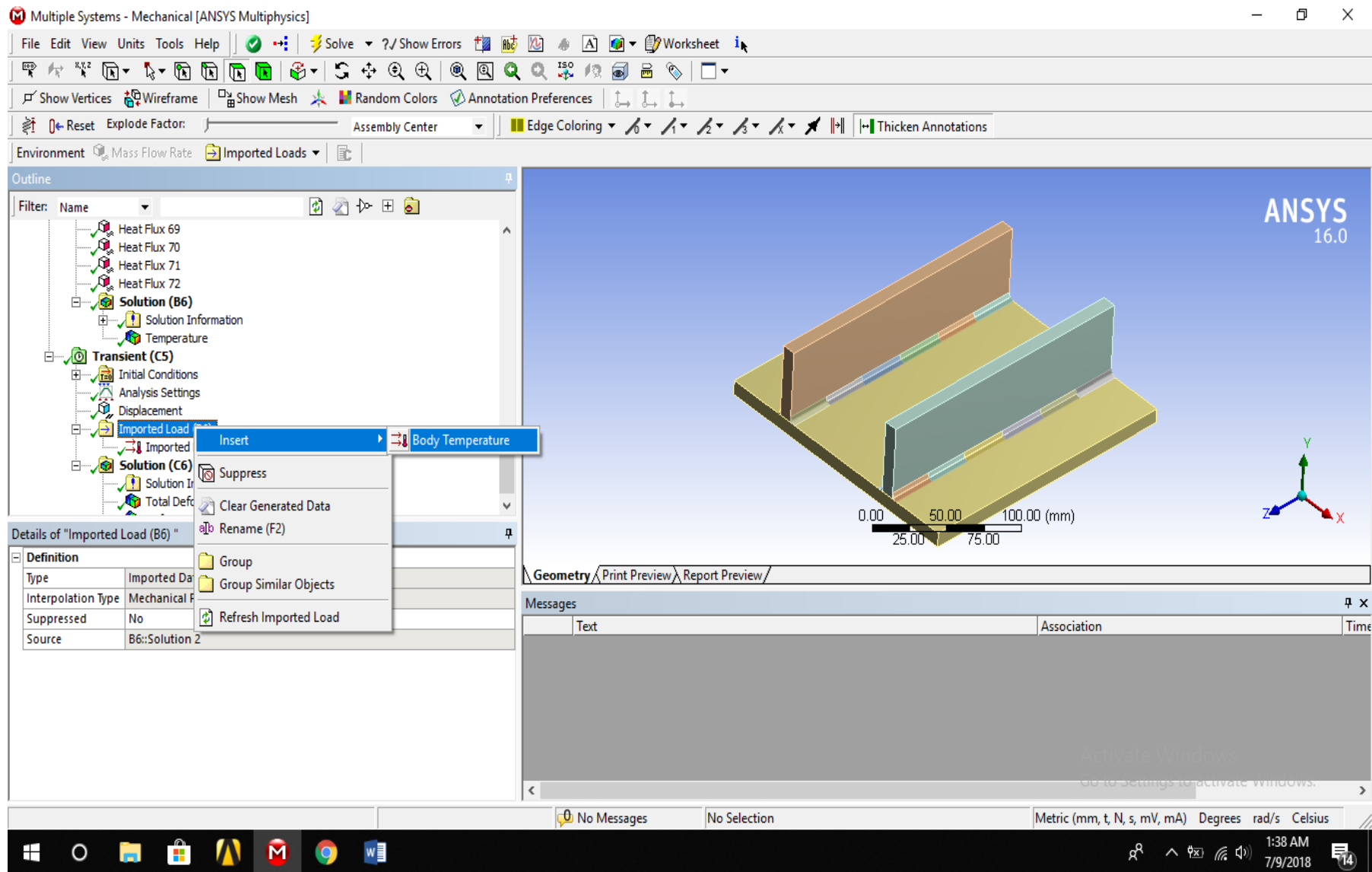
## 7. Mengimpor Beban Panas ke Analisis *Transient Structural*



The screenshot shows the ANSYS Multiphysics interface for a Transient Structural analysis. The main window displays a 3D model of a mechanical part with a temperature gradient. The 'Imported Body Temperature' load is applied. The 'Details of Imported Body Temperature' panel shows the source time set to 'All'. The 'Data View' panel shows a table of source and analysis times.

	Source Time (s)	Analysis Time (s)
1	0.0485	0.0485
2	0.06466666666505	0.06466666666505
3	0.0808333333301	0.0808333333301
4	0.104025877431729	0.104025877431729
5	0.13328650289439	0.13328650289439

Setelah itu, klik *source time* pada *details of "imported body temperature"*, dan pilih "all". Hal tersebut dilakukan untuk mengimpor seluruh beban panas yang dihasilkan dari analisis *transient thermal*.



Setelah itu klik kanan pada *imported body temperature* untuk mengimpor beban panas.

## 8. Tampilan Pasca Impor Beban Panas

Multiple Systems - Mechanical [ANSYS Multiphysics]

File Edit View Units Tools Help | Solve | Show Errors | Worksheet

Show Vertices Wireframe Show Mesh Random Colors Annotation Preferences

Reset Explode Factor: Assembly Center Edge Coloring Thicken Annotations

Environment Mass Flow Rate Variable Data

Outline

Filter: Name

- Heat Flux 69
- Heat Flux 70
- Heat Flux 71
- Heat Flux 72
- Solution (B6)
  - Solution Information
  - Temperature
- Transient (C5)
  - Initial Conditions
  - Analysis Settings
  - Displacement
  - Imported Load (B6)
    - Imported Body Temperature
  - Solution (C6)
    - Solution Information
    - Total Deformation

Details of "Imported Body Temperature"

Scope

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	7 Bodies

Definition

Type	Imported Body Temperature
Tabular Loading	Program Controlled
Suppressed	No
Source Environment	Transient Thermal (B5)
Source Time	All

Graphics Controls

By	Active Row
Active Row	1

C: Transient Structural  
Imported Body Temperature  
Unit: °C  
7/9/2018 1:39 AM

63.114 Max  
58.057  
53.001  
47.944  
42.887  
37.83  
32.773

Imported Body Temperature

0.00 Max 100.00 200.00 (mm)  
Min 150.00

ANSYS 16.0

Geometry | Print Preview | Report Preview

Tabular Data

Steps	Time [s]	Temperature
1	4.85e-002	Row_1
2	4.95e-002	Row_2
3	6.4667e-002	Row_2
4	6.5667e-002	Row_3

Messages | Tabular Data | Graph

Data View

Imported Body Temperature

	Source Time (s)	Analysis Time (s)
1	0.0485	0.0485
2	0.06466666666505	0.06466666666505
3	0.0808333333301	0.0808333333301
4	0.104025877431729	0.104025877431729
5	0.13328650289439	0.13328650289439

No Messages | No Selection | Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius

1:39 AM 7/9/2018

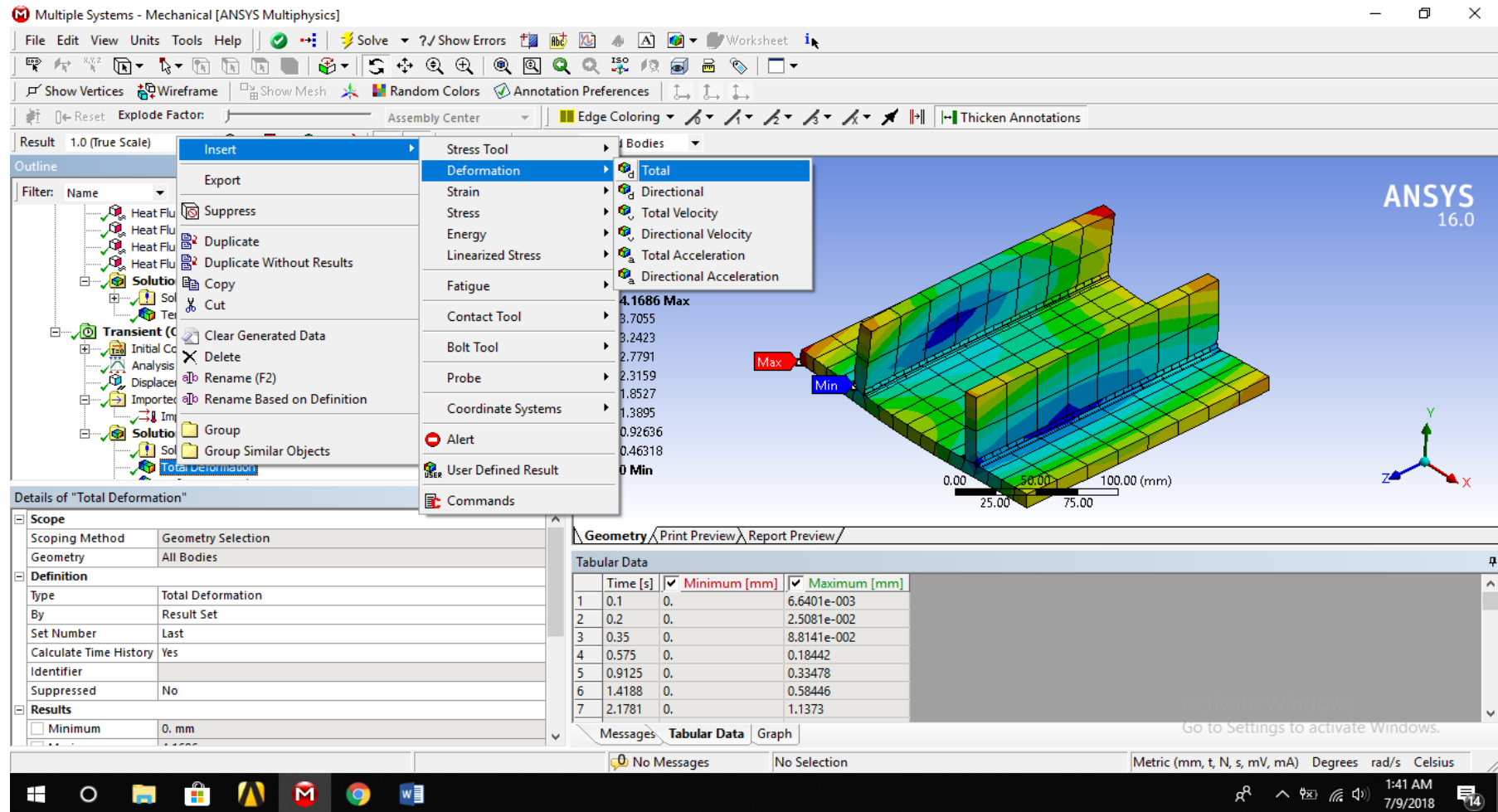
## 9. Memberikan *Boundary Condition* berupa *Displacement*

The screenshot displays the ANSYS Multiphysics interface. The 'Outline' tree on the left shows a 'Transient (C5)' analysis with a 'Displacement' boundary condition applied to a component. The 'Details of "Displacement"' panel shows the 'Scope' and 'Definition' sections. The 'Definition' section is expanded to show the 'X Component', 'Y Component', and 'Z Component' all set to '0. mm (step applied)'. The 'Suppressed' checkbox is checked. The 'Details of "Displacement"' panel also shows the 'Type' as 'Displacement' and the 'Coordinate System' as 'Global Coordinate System'. The 'Definition' section is expanded to show the 'X Component', 'Y Component', and 'Z Component' all set to '0. mm (step applied)'. The 'Suppressed' checkbox is checked. The 'Details of "Displacement"' panel also shows the 'Type' as 'Displacement' and the 'Coordinate System' as 'Global Coordinate System'. The 'Definition' section is expanded to show the 'X Component', 'Y Component', and 'Z Component' all set to '0. mm (step applied)'. The 'Suppressed' checkbox is checked.

Time [s]	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
0	= 0.	= 0.	= 0.
73.3	0.	0.	0.

*Displacement* diberikan di konstruksi dengan penampang area yang logis untuk diberi penyangga dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

## 10. Running Analisis Transient Structural



The screenshot shows the ANSYS 16.0 interface. The 'Insert' menu is open, and the path 'Deformation' > 'Total' is selected. The main window displays a 3D model of a mechanical part with a color-coded deformation field. A 'Details of Total Deformation' panel is visible, showing the scope and definition of the result. A 'Tabular Data' panel at the bottom shows a table of minimum and maximum deformation values over time.

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	0.	6.6401e-003
2	0.	2.5081e-002
3	0.	8.8141e-002
4	0.	0.18442
5	0.	0.33478
6	0.	0.58446
7	0.	1.1373

Cara untuk melakukan *running* yaitu mengklik *Solution* (A6) pada *outline*, lalu klik *insert*, kemudian *deformation*, dan terakhir *total*, Setelah semua dilakukan, proses *running* telah siap dilakukan.

## BIODATA PENULIS



Aviciena Giovanni Sutekat lahir pada tanggal 10 Februari 1997. Penulis menjalani pendidikan formal SD selama 2 tahun di SDN 06-07 Pagi Jakarta Selatan dan 4 tahun di SD. Hj. Isriati Baiturrahman Semarang. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP 5 Negeri Semarang selama 1 tahun yang kemudian dilanjutkan dengan mengemban ilmu di SMPN 111 Jakarta Barat selama 2 tahun. Setelah itu melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 78 Jakarta Barat. Setelah lulus pada tahun 2014,

penulis mengikuti serangkaian ujian seleksi masuk PTN (Perguruan Negeri Tinggi) yang pada akhirnya diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa periode 2015-2016 dan diberikan amanah lebih baik untuk menjadi Ketua Divisi Kaderisasi Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan. Selain aktif dalam kegiatan berorganisasi, penulis juga aktif mengikuti kegiatan yang ada di dalam atau luar kampus. Penulis berhasil mendapatkan posisi ketiga di Kejuaraan Karate se-Jawa Timur Piala DPRD CUP 2018. Selain itu, penulis juga diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Kerja Praktik di PT. Timas Suplindo dan penulis ditempatkan di *Quality Control Department* sebagai *internship student* untuk membantu kegiatan inspeksi.

Kontak penulis :

*Email:* avicienagiovannisutekat@gmail.com