

**ANALISIS TERMAL  
PADA MESIN LAS FRIKSI  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
pada Jurusan Teknik Mesin



Disusun oleh :

**Nama : Muhammad Wiradinata**

**NIM : 04525019**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2011**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**ANALISIS TERMAL  
PADA MESIN LAS FRIKSI  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR**



Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

**Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.**

**Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.**

# LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

## ANALISIS TERMAL PADA MESIN LAS FRIKSI MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

### TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Muhammad Wiradinata

No. Mahasiswa : 04 525 019

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta, 12 Agustus 2011

Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Ketua

Purtojo, S.T., M.Sc.

Anggota I

Tri Setia Putra, S.T.

Anggota II

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Islam Indonesia

Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

## HALAMAN PERSEMBAHAN



Semua ini aku persembahkan kepada :

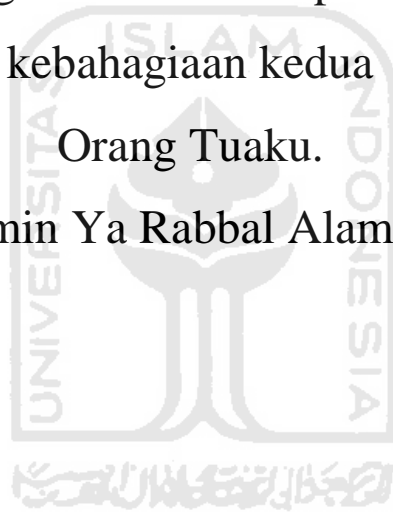
Bapak dan Ibuku Tercinta

Semoga segala usaha ini dapat menambah

kebahagiaan kedua

Orang Tuaku.

“Amin Ya Rabbal Alamin”



## HALAMAN MOTTO

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan.

Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah.

Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah,

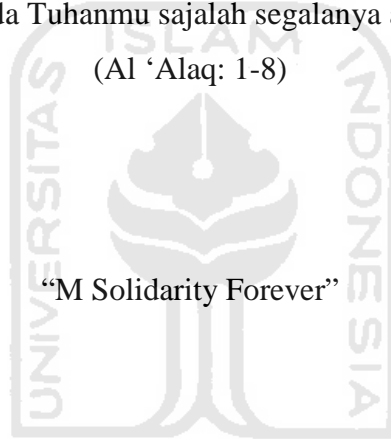
Yang mengajar (manusia) dengan *Qalam*.

Dialah yang mengajarkan manusia segala apa yang belum diketahui.

Ketahuiilah! Sesungguhnya manusia benar-benar melampaui batas,  
karena melihat dirinya serba mampu.

Sesungguhnya kepada Tuhanmu sajalah segala yang akan dikembalikan”

(Al ‘Alaq: 1-8)



“M Solidarity Forever”

“Aku Cinta Kepada Tuhanku.

Aku Cinta Kepada Alam.

Aku Cinta Kepada Bangsa dan Tanah Airku.

Aku Cinta Kepada Masyarakat

Aku Cinta Kepada Diriku

Pantang Kembali Sebelum Tercapai Puncak Idaman”

## KATA PENGANTAR



*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Puji dan syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Termal Pada Mesin Las Friksi Menggunakan Metode Elemen Hingga”.

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Keberhasilan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Agung Nugroho Adi ST., MT., sebagai Dosen Pembimbing Satu dan Ibu Yustiasih Purwaningrum. ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Kedua dan Dosen Penguji yang telah memberi bimbingan dan saran selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Purtojo S.T., M.T. dan Bapak Tri Setia Putra, S.T. selaku dosen penguji atas saran, masukan dan arahan yang bersifat membangun bagi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Dekan Fakultas Teknologi Industri, Ketua Jurusan Teknik Mesin UII, Dosen Pembimbing Akademik serta segenap Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri atas ilmu yang telah diberikan dan segala kelancaran selama menempuh studi.
4. Semua pihak yang telah membantu baik materiil maupun spiritual dalam penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca dan semua pihak yang bersifat membangun akan diterima dengan tangan terbuka demi kemajuan dan kesempurnaan penulisan di masa yang akan datang.

Akhirulkitabul penulis mohon maaf dengan ketulusan hati seandainya dalam penulisan tugas akhir ini terdapat kekhilafan, dan penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi masyarakat pada umumnya serta perkembangan dan kemajuan ilmu teknik mesin pada khususnya. Amin.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 9 Agustus 2011

Penulis,

Muhammad Wiradinata



## DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
ABSTRAKSI.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
Latar Belakang.....	1
Rumusan Masalah.....	3
Batasan Masalah.....	3
Tujuan Tugas Akhir.....	3
Sistematika Penulisan.....	4
BAB II. DASAR TEORI .....	5
2.1. Gaya Gesek.....	5
2.1.1. Jenis-Jenis Gaya Gesek.....	6
2.1.2. Manfaat dan Kerugian Gaya Gesek.....	7
2.2. Aluminium.....	7
2.2. 1. Sifat Aluminium.....	8
2.2. 2. Klasifikasi Aluminium.....	8
2.2. 3. Sifat-Sifat Aluminium.....	11
2.3. Perpindahan Panas.....	12
2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi.....	12
2.3.2. Perpindahan Panas Konveksi.....	13
2.3.3. Perpindahan Panas Radiasi.....	13
2.4. Mesin Las Friksi ( <i>Friction Stir Welding</i> ).....	14



2.4. 1. Prinsip Kerja FSW.....	14
2.4. 2. Keunggulan Mesin Las Friksi.....	17
2.4. 3. Energi Mesin Las Friksi.....	18
2.5. Metode Elemen Hingga (Ansys 12).....	20
2.5.1. Proses/Tahapan Pada Ansys 12.....	21
2.5.2. Bagian-Bagian Tampilan Muka Ansys 12.....	21
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3. 1. Metode Penelitian.....	23
3. 2. Pemodelan Material.....	24
3. 3. Pemodelan Mesin Las Friksi.....	24
3. 4. Simulasi Heat Transfer.....	25
3. 5. Analisis Data Hasil.....	26
<b>BAB IV. ANALISIS DAN HASIL.....</b>	<b>27</b>
4. 1. Pemodelan Material ( <i>Propocessor</i> ).....	27
4.1.1. Memasukan Sifat fisik Material.....	27
4.1.2. Memodelkan Geometri Material.....	28
4.1.3. <i>Meshing</i> .....	30
4. 2. Pemodelan Kondisi Material ( <i>Solution</i> ).....	31
4.2.1. Kondisi Sekitar Material Pada Proses Transfer Energi.....	31
4.2.2. Kondisi Beban Temperatur Pada Material.....	32
4. 3. Data Hasil ( <i>General Postprocessor</i> ).....	33
4. 4. Perbaikan.....	37
4. 4. 1. Pemodelan Material Pada <i>Preprocessor</i> .....	38
4. 4. 2. Pemberian Beban Pada <i>Solution</i> .....	38
4. 4. 3. Data Hasil Pada <i>General Post Processor</i> .....	38
4. 5. Analisis Data Hasil.....	39
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1. Kesimpulan .....	49
5.2. Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Bagan Klasifikasi Proses Pengelasan.....	1
Gambar 2.1.	Ilustrasi Gaya Gesek.....	5
Gambar 2.2.	Ilustrasi Konduksi.....	12
Gambar 2.3.	Ilustrasi Konveksi Bebas dan Paksa.....	13
Gambar 2.4.	Ilustrasi Radiasi.....	13
Gambar 2.5.	Salah Satu Jenis Mesin FSW.....	14
Gambar 2.6.	Ilustrasi Proses Penyambungan Pada Mesin Las Friksi.....	14
Gambar 2.7.	Geometri Pin/ <i>Tool</i> . ....	15
Gambar 2.8.	Ilustrasi gerak rotasi <i>tool</i> FSW.....	16
Gambar 2.9.	Ilustrasi Gaya Tekan FSW.....	16
Gambar 2.10.	Ilustrasi Kecepatan Translasi FSW.....	17
Gambar 2.11.	Tampilan Awal ANSYS 12.....	22
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2.	Geometri Material .....	24
Gambar 3.3.	Geometri Bahu <i>Tool</i> ( $r_0$ ) = Jari Jari Energi Panas FSW.....	25
Gambar 3.4.	Proses FSW.....	25
Gambar 4.1	Tampilan Menu Ansys 12.....	27
Gambar 4.2.	Memasukan Sifat Fisik Material Pada Material Model.....	28
Gambar 4.3.	Titik 1 Merupakan Titik Awal Proses Pemodelan Geometri.....	28
Gambar 4.4.	Memasukan Nilai <i>Keypoint</i> .....	29
Gambar 4.5.	Model Material AA6061-T651 Pada Ansys 12.....	29
Gambar 4.6.	Proses Pembuatan Area Lingkaran.....	30
Gambar 4.7.	Proses <i>Meshing</i> Dan Produk Yang Telah Di <i>Meshing</i> .....	30
Gambar 4.8.	Model Material AA 6061-T651 Yang Sudah Siap Dibebani Dan Analisis.....	31
Gambar 4.9.	<i>Solution</i> Pada Ansys 12.....	31
Gambar 4.10.	Memasukan Data Untuk Memodelkan Kondisi Material.....	32
Gambar 4.11.	Daerah Yang Menerima <i>Heat Flux</i> .....	33

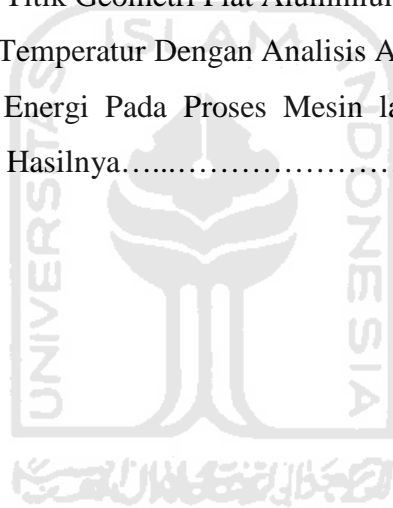
Gambar 4.12.	Memasukan Data <i>Heat Flux</i> Proses <i>Heat Transfer</i> Pada Ansys 12.....	34
Gambar 4.13.	Temperatur Dari Proses <i>Heat Transfer</i> .....	34
Gambar 4.14.	Proses Memasukan Perintah “ <i>Command Prompt</i> ” Pada.....	36
Gambar 4.15.	Distribusi Temperatur Pada Saat Waktu 16 Detik.....	37
Gambar 4.16.	<i>Vector Result of heat flux</i> Pada Saat Waktu 32 Detik.....	37
Gambar 4.17.	Distribusi Temperatur Pada Saat Waktu 18 Detik.....	39
Gambar 4.18.	<i>Vector Result of heat flux</i> Pada Saat Waktu 18 Detik.....	39
Gambar 4.19.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 1</i> Dengan Tmax 522 F Saat T = 10 S.....	41
Gambar 4.20.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 2</i> Dengan Tmax 702 F Saat T = 10 S.....	41
Gambar 4.21.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 3</i> Dengan Tmax 738 F Saat T = 10 S.....	42
Gambar 4.22.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 4</i> Dengan Tmax 774 F Saat T = 10 S.....	42
Gambar 4.23.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 5</i> Dengan Tmax 855 F Saat T = 10 S.....	42
Gambar 4.24.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 6</i> Dengan Tmax 1213 F Saat T = 480 S.....	43
Gambar 4.25.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 7</i> Dengan Tmax 1338F Saat T = 480 S.....	43
Gambar 4.26.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 8</i> Dengan Tmax 1402 F Saat T = 480 S.....	43
Gambar 4.27.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 9</i> Dengan Tmax 1681 F Saat T = 480 S.....	44
Gambar 4.28.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 10</i> Dengan Tmax 958 K Saat T = 240 S.....	44
Gambar 4.29.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case 11</i> Dengan Tmax 1027 K Saat T = 240 S.....	44

Gambar 4.30.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case</i> 12 Dengan Tmax 1095 K Saat T = 240 S.....	45
Gambar 4.31.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case</i> 13 Dengan Tmax 1235 K Saat T = 240 S. ....	45
Gambar 4.32	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case</i> 14 Dengan Tmax 818 K Saat T = 120 S. ....	45
Gambar 4.30.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case</i> 15 Dengan Tmax 857 K Saat T = 120 S.....	46
Gambar 4.31.	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case</i> 16 Dengan Tmax 890 K Saat T = 120 S. ....	46
Gambar 4.32	Hasil Data Distribusi Kalor <i>Case</i> 17 Dengan Tmax 964 K Saat T = 120 S. ....	46



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Sifat-Sifat Fisik Aluminium.....	8
Tabel 2.2.	Sifat-Sifat Mekanik Aluminium.....	8
Tabel 2.3.	Aluminium Dan Paduannya.....	9
Tabel 2.4.	Karakteristik Material Dan Geometri Tool Pada Pemodelan Samir and Ali.....	19
Tabel 2.5.	Energi dan Temperatur Yang Diperoleh Oleh Pemodelan Samir and Ali .....	19
Tabel 3.1.	Sifat dari AA6061-T651 .....	24
Tabel 4.1.	Posisi Titik Titik Geometri Plat Aluminium.....	28
Tabel 4.2.	Energi dan Temperatur Dengan Analisis Ansys 12.....	40
Tabel 4.3	Klasifikasi Energi Pada Proses Mesin las Friksi berdasarkan Temperatur Hasilnya.....	47



## ABSTRAKS

*Pengelasan merupakan suatu teknologi penyambungan logam, salah satu pengelasan logam yang dikembangkan sejak ditemukannya energi listrik adalah mesin las friksi. Mesin ini lebih dikembangkan karena memiliki kelebihan diantaranya mampu mengelas logam sulit seperti aluminium. Tentunya dalam semua model pengelasan, untuk mendapatkan penyambungan yang baik harus mempunyai energi panas yang cukup untuk meleburkan material. Begitupula penelitian ini akan menganalisis termal yang terjadi pada mesin las friksi menggunakan metode elemen hingga yang terkemas dalam suatu paket program Ansys 12.*

*Penelitian dilakukan dengan memodelkan proses termal mesin las friksi menggunakan perangkat lunak Ansys 12, sedangkan untuk material yang digunakan pada proses pengelasan adalah aluminium seri AA6061-T651. Proses termal yang dimodelkan dalam Ansys 12 ini bertujuan untuk mendapatkan laju dan distribusi kalornya sehingga bisa didapat parameter terbaik dalam pengelasan friksi pada aluminium seri AA6061-T651.*

*Hasil yang didapat melalui pemodelan ini adalah diketahuinya laju perpindahan kalor pada proses mesin las friksi, dengan kesimpulan yang dapat ditarik adalah semakin cepat putaran tool mesin friksi maka semakin besar kalor yang ditimbulkan, semakin besar gaya tekan yang diberikan maka semakin besar juga kalor yang ditimbulkan, sedangkan untuk pengaruh kecepatan translasi atau gerak liniernya adalah semakin cepat gerak translasi mesin las friksi maka semakin kecil kalor yang ditimbulkannya.*

**Kata kunci : mesin las friksi, termal, aluminium dan Ansys 12.**

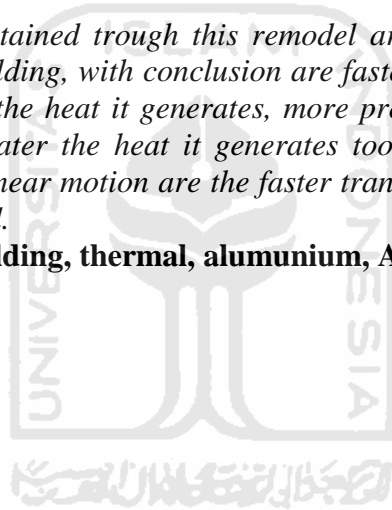
## **ABSTRACTION**

*Welding are a technology that used to put trough two metals, one of metal welding methodst that has been develeoped since electrical energy found are the friction stir welding. This welding more developed than any other welding because it has more superiority capability such as welding a dificult metal such as aluminium. On the every welding methods, to obtain a good joint must have enough thermal energy to fuse the material. This research means to analyze the thermal energy that occur at friction stir welding using finited element method up to that packed on software Ansys 12 package.*

*The research conducted by remodel the thermal process on the friction stir welding using software Ansys 12 and for the material that used in the welding process are Aluminium series AA6061-T651. Thermal process that remodel at the Ansys 12 have a purpose to obtain the kalor rate and distribution with the result that obtained the best paramater to use friction stir welding method on Aluminium series AA6061-T651.*

*The result that obtained trough this remodel are knowing transfer heat rate at the friction stir welding, with conclusion are faster rotation of friction stir welding then the greater the heat it generates, more pressure applied to friction stir welding then the greater the heat it generates too, on the other for speed translation influence or linear motion are the faster translation motion then more small the heat it generated.*

**Keynote: friction stir welding, thermal, alumunium, Ansys 12.**



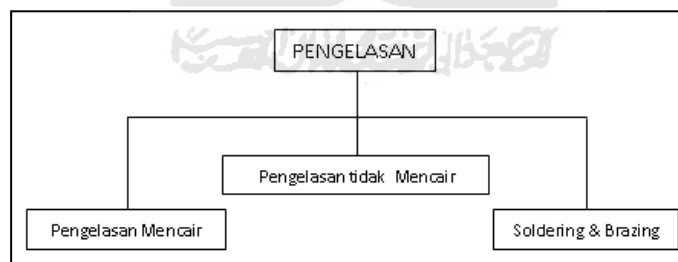
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam, dimana dengan cara dicairkan maupun tanpa dicairkan, ditekan maupun tanpa ditekan, dipanaskan maupun tanpa dipanaskan (Sonawan dan Suratman, 2003). Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa material logam dengan menggunakan energi, serta dalam proses penyambungan ini ada kalanya disertai dengan tekanan, pemanasan dan material tambahan (*filler*). Proses Pengelasan seperti ini telah diketahui sejak zaman prasejarah, dalam rentang waktu antara 4000 sampai dengan 3000 tahun SM. Kemudian setelah energi listrik dapat dipergunakan maka teknologi pengelasan berkembang dengan pesat (Wiryosumarto dan Okumura, 2004).

Setelah energi listrik dapat dipergunakan dengan mudahnya, perkembangan teknologi pengelasan maju dengan pesatnya. Sehingga menjadi sesuatu teknik penyambungan yang mutakhir, hingga saat ini proses pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian utama seperti gambar 1.1.



**Gambar 1.1. Bagan Klasifikasi Proses Pengelasan**  
(Sonawan dan Suratman, 2003)

Dari gambar 1.1, terdapat 3 klasifikasi yakni yang pertama pengelasan mencair (*fusion welding*). Dalam pengelasan ini logam induk mengalami pencairan akibat dari pemanasan, contohnya *Shield Gas Arc Welding*. Kedua pengelasan tidak mencair (*Solid State Welding*). Dalam pengelasan ini prosesnya tidak sampai mencairkan logam induk, contohnya las mesin friksi (*Friction Stir*



*Welding*). kemudian terakhir adalah *soldering & brazing*. Dalam pengelasan ini tidak sampai mencairkan logam induk hanya logam pengisi (*filler*) saja, contohnya *Braze Welding*.

Sejak pertama kali ditemukan dan dikembangkan pada tahun 1991 oleh Wayne Thomas dari *The Welding Institute* (TWI) Inggris, terbukti bahwa proses mesin las friksi telah menjadi sebuah metode pengelasan yang fleksibel dan memiliki banyak keuntungan yang potensial, mulai dari peningkatan kualitas sambungan hingga penyambungan pada logam yang sulit seperti aluminium, karena hal itu penelitian lebih lanjut untuk pengembangan mesin las friksi banyak dilakukan untuk meningkatkan hasil prosesnya.

Berdasarkan latar belakang tersebutlah maka penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut mengenai penyambungan logam dengan metode *Friction Stir Welding*. Penelitian lebih lanjut tersebut melakukan analisis termal yang disebabkan oleh proses pada mesin welding yang mengakibatkan adanya sumber energi panas yang ditimbulkan mesin las friksi sehingga terjadi perbedaan temperatur pada sisi-sisi permukaan material.

Perbedaan temperatur menyebabkan timbulnya energi panas dimana semakin semakin besar perbedaan temperatur maka semakin tinggi laju perpindahan panas (Cengel, 2003) Dengan analisis ini dilakukan dengan membuat pemodelan proses mesin las friksi dan melakukan simulasi proses las friksi dengan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga maka akan didapat dan diketahui distribusi temperatur dan laju aliran kalor yang terjadi pada material.

Besarnya temperatur, distribusi dan laju aliran kalor yang didapat melalui pemodelan ini akan dibandingkan dengan temperatur leleh bahannya, sehingga didapat apakah parameter-parameter dalam pengaturan kecepatan putar, kecepatan linier dan tekanan pada *tool* menghasilkan panas yang sesuai dengan kebutuhan energi panas untuk menyambung material tersebut menggunakan mesin las friksi. Pada tahap akhir hasil analisis didapat berupa parameter penyambungan logam aluminium dengan teknologi mesin las friksi yang lebih tepat guna.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan kalor yang dihasilkan oleh proses mesin las friksi.
2. Bagaimana memodelkan proses kerja pada mesin las friksi menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga.
3. Bagaimana melakukan simulasi perpindahan kalor pada proses las friksi.
4. Bagaimana menentukan parameter terbaik untuk proses penyambungan menggunakan mesin las friksi, sehingga mendapat hasil yang maksimal dan lebih baik sesuai dengan perencanaan.

## **1.3. Batasan Masalah**

Pembatasan masalah dalam tugas akhir ini agar ruang lingkup pembahasan menjadi jelas dan tidak meluas ke hal-hal yang tidak diinginkan. Batasan masalah dalam tugas akhir ini meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Material yang dipakai dalam pengelasan adalah alumunium alloy seri AA6061-T651.
2. Pemodelan material dan simulasi distribusi temperatur pada mesin las friksi menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga.
3. Menghitung distribusi temperatur dan laju aliran kalor mesin las friksi.
4. Parameter-parameter dalam proses mesin las friksi yang disimulasikan diantaranya tekanan, kecepatan putar dan kecepatan linier.

## **1.4. Tujuan Tugas Akhir**

Sebuah tugas akhir dibuat tentunya memiliki tujuan-tujuan yang hendak dicapai dari pembuatan tugas akhir tersebut, antara tujuan-tujuan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan proses mesin las friksi dan dapat melakukan simulasi proses las friksi untuk mengetahui distribusi temperatur yang terjadi.
2. Memperoleh parameter-parameter terbaik mengenai kecepatan putar, tekanan dan kecepatan linier pada proses mesin las friksi.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

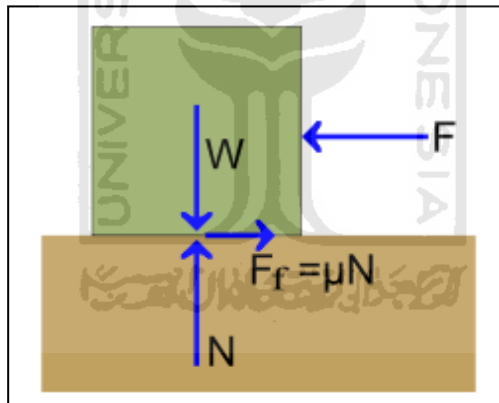
Sistematika penulisan yang disajikan dalam laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut, pada bab 1 berupa pendahuluan, bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan perancangan dan sistematika penulisan. Kemudian pada bab 2 meliputi dasar teori yang mendukung pelaksanaan tugas akhir ini. Selanjutnya Bab 3 mengenai metode penelitian, bab ini berisikan tentang tahapan-tahapan dalam pelaksanaan tugas akhir. Sedangkan pada bab 4 berisi tentang lanjutan bab berikutnya dimana hasil perancangan akan dibahas dan dianalisis. Terakhir pada bab 5 yang merupakan penutup, akan dipaparkan beberapa kesimpulan dan saran mengenai penelitian yang telah dilakukan.



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1. Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang bekerja pada benda dan arahnya selalu berlawanan arah gerak benda. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Benda-benda yang dimaksud di sini tidak harus berbentuk padat, melainkan dapat pula berbentuk cair ataupun gas. Gaya gesek antara dua buah benda padat misalnya adalah gaya gesek statis dan kinetis, sedangkan gaya antara benda padat dan cairan serta gas adalah gaya Stokes. Untuk dapat lebih jelas memahami dari proses gaya gesek dapat dilihat gambar 2.1 yang menggambarkan adanya proses gaya gesek dan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya gaya gesek pada dua duah benda padat (Banna, 2010).



Gambar 2.1. Ilustrasi Gaya Gesek. (Sumber: Banna, 2010)

Persamaan gaya gesek :

$$F_f = \mu N \dots\dots\dots(2.1)$$

untuk :  $N = W = m g \dots\dots\dots(2.2)$

dengan :  $F_f$  = besar gaya gesek,  $\mu$  = koefisien gaya gesek,  $N$  = besar gaya normal,  $W$  = berat,  $m$  = masa dan  $g$  = gravitasi.

### 2.1.1. Jenis-Jenis Gaya Gesek

Terdapat dua jenis gaya gesek antara dua buah benda yang padat saling bergerak lurus, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Hal ini dibedakan oleh titik-titik sentuh antara kedua buah permukaan yang tetap atau saling berganti.

#### 1. Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua buah benda padat yang tidak bergerak relatif antara satu sama lainnya. Koefisien dari gaya gesek statis umumnya dinotasikan dengan “ $\mu_s$ ” dan pada umumnya lebih besar dari koefisien gesek kinetis. Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang diaplikasikan tepat sebelum benda tersebut bergerak. Gaya gesekan maksimum antara dua buah permukaan sebelum terjadinya gerakan merupakan hasil dari koefisien gesek statis dikalikan dengan gaya normal.

Persamaan gaya gesek statis :

$$F_s \leq \mu_s N \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :  $F_s$  = gaya gesek statis,  $\mu_s$  = koefisien gesek statis dan  $N$  = besar gaya normal.

#### 2. Gaya Gesek Kinetis

Gaya gesek kinetis (dinamis) terjadi ketika dua buah benda bergerak relatif satu sama lainnya dan benda tersebut saling bergesekan. Koefisien gesek kinetis umumnya dinotasikan dengan “ $\mu_k$ ” dan pada umumnya selalu lebih kecil dari gaya gesek statis untuk material yang sama. Untuk persamaan gaya gesek kinetis ( $\mu_k$ ) dapat dituliskan sebagai berikut :

Persamaan gaya gesek dinamis :

$$F_k = \mu_k N \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :  $F_k$  = gaya gesek kinetis,  $\mu_k$  = koefisien gesek kinetis dan  $N$  = besar gaya normal.

### 2.1.2. Manfaat dan Kerugian Gaya Gesek

Gaya gesek dapat merugikan dan juga bermanfaat. Panas pada poros yang berputar, engsel pintu dan sepatu yang aus adalah contoh kerugian yang disebabkan oleh gaya gesek. Akan tetapi tanpa gaya gesek manusia tidak dapat berpindah tempat karena gerakan kakinya hanya akan menggelincir di atas lantai. Tanpa adanya gaya gesek antara ban mobil dan jalan, mobil hanya akan slip dan tidak dapat bergerak. Untuk itu dapat dilihat sebagai berikut manfaat dan kerugian dari gaya gesek:

Manfaat Gaya Gesek pada Kehidupan Sehari-hari :

1. Menghasilkan panas, misalnya gaya gesek yang timbul ketika menggosok-gosokkan kedua belah tangan untuk dapat menghangatkan badan.
2. Mengikis benda, contoh gaya gesek yang timbul dari ampelas terhadap kayu dapat membuat kayu menjadi halus.
3. Mencegah benda tergelincir, contoh gaya gesek antara sepatu dan lantai membuat kita tidak tergelincir.

Kerugian Gaya Gesek pada Kehidupan Sehari-hari :

1. Gaya gesek menghambat gerak sehingga memboroskan energi. Contoh gaya gesek antara udara dengan pembalap sepeda membuat pembalap sepeda harus mengeluarkan tenaga yang besar.
2. Gaya gesek dapat mengikis benda, contoh ban mobil akan cepat gundul akibat sering bergesekan dengan jalan.

## 2. 2. Aluminium

Aluminium merupakan logam yang memiliki rumus kimia Al, logam ini dikenal sebagai logam yang memiliki ketahanan korosi tinggi terhadap udara, air, oli dan beberapa cairan kimia. Selain tahan terhadap korosi, aluminium merupakan logam yang memiliki masa jenis yang ringan dengan masa jenis aluminium sekitar  $\frac{1}{3}$  dari masa jenis baja atau tembaga yakni sekitar  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ . Karena keistimewaan sifat itu, paduan aluminium banyak digunakan untuk mengurangi beban atau berat konstruksi sehingga menjadi ringan (Surdia dan Saito, 1999).

### 2.2. 1. Sifat Aluminium

Sifat dari aluminium selain dari sifatnya tadi yang memiliki ketahanan korosi dan ringan sebagai kelebihan logam ini, aluminium juga mempunyai sifat-sifat lainnya baik sifat secara fisik maupun secara mekanis. Untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis dari aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2.

**Tabel 2.1. Sifat-sifat fisik aluminium**  
(Sumber: Surdia dan Saito, 1999)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$

**Tabel 2.2. Sifat-sifat mekanik aluminium**  
(Sumber: Surdia dan Saito, 1999)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)		
	99,996		>99,0
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil
Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35
Kekerasan Brinell	17	27	23

### 2.2. 2. Klasifikasi Aluminium

Berdasarkan klasifikasi unsur-unsur paduannya aluminium dibagi dalam delapan jenis yaitu: Al murni, paduan Al-Cu, paduan Al-Mn, paduan Al-Si, paduan Al-Mg, paduan Al-Mg-Si, paduan Al-Zn dan paduan Al-unsur lain (Sonawan dan Suratman, 2003). Pada aluminium murni umumnya mencapai kemurnian 99,85%, namun dengan mengelektrolisa kembali didapat aluminium dengan kemurnian mencapai 99,99%. Sedangkan untuk aluminium paduan

dilakukan penambahan unsur logam Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan unsur lainnya baik secara satu persatu atau bersama-sama. Hal ini dilakukan untuk menambahkan kekuatan, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian yang rendah pada aluminium (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000). Agar dapat lebih memahami dapat dilihat tabel klasifikasi aluminium dan paduannya pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3. Aluminium dan paduannya (Sumber: Sonawan dan Suratman, 2003)**

Seri	Unsur-unsur
1xxx	Al murni > 99%
2xxx	Al+Cu
3xxx	Al+Mn
4xxx	Al+Si
5xxx	Al+Mg
6xxx	Al+Mg+Si
7xxx	Al+Zn
8xxx	Al+unsur lain

### 1. Aluminium 1xxx (Al murni)

Sifat khusus dari aluminium seri 1xxx adalah tahan terhadap korosi secara sempurna, memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi, sifat-sifat mekanik yang rendah, sifat mampu kerja yang tinggi (mudah dipabrikasi) dan konduktivitas termal yang baik.

### 2. Aluminium 2xxx (Al-Cu)

Jenis aluminium seri 2xxx adalah Al yang ditambahkan unsur paduan tembaga (Cu). penambahan unsur paduan ini dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan mampu mesin. Aluminium seri 2xxx ini dapat ditingkatkan kekuatannya dengan proses *heat treatment* sehingga dapat menyamai sifat dari baja lunak. Tetapi sifat yang menjadi kekurangan seri 2xxx ini adalah daya tahan korosinya yang paling rendah dibandingkan dengan jenis paduan aluminium lainnya dan mampu lasnya juga kurang baik.



### **3. Aluminium 3xxx (Al-Mn)**

Unsur yang ditambahkan pada aluminium ini adalah mangan (Mn), paduan Al-Mn ini adalah jenis yang tidak dapat dilakukan proses *heat treatment* sehingga penambahan pada kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Untuk mendapatkan kekuatan yang optimal dari aluminium jenis ini dapat juga dilakukan dengan penambahan Mn sebesar 1,5% saja.

### **4. Aluminium 4xxx (Al-Si)**

Unsur paduannya adalah Si (silicon), unsur paduan dapat mencapai 12%. Unsur Si pada paduan akan menurunkan titik leleh dan membuat jadi lebih getas, sehingga tidak dapat diperlakukan panas. Selain itu, jenis ini dalam keadaan cair memiliki sifat mampu alir yang cukup baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya, maka paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam kawat las (*welding wire*) dalam pengelasan paduan aluminium.

### **5. Aluminium 5xxx (Al-Mg)**

Unsur paduannya adalah Mg (Magnesium), jenis ini termasuk jenis yang tidak dapat dilakukan proses *heat treatment*. Akan tetapi seri 5xxx ini mempunyai sifat yang paling tinggi dalam kekuatannya, baik dalam daya tahan korosi (terutama korosi oleh air laut) dan dapat dilas. Karena sifat yang dimilikinya tersebut, aluminium ini tidak hanya sebatas konstruksi umum dalam pemanfaatannya, tetapi paduan Al-Mg juga banyak digunakan untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

### **6. Aluminium 6xxx (Al-Mg-Si)**

Unsur paduan Si (silicon) & Mg (Magnesium), paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat dilakukan proses *heat treatment* dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup baik. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

## 7. Aluminium 7xxx (Al-Zn)

Unsur paduan Zn (*Zinc*), unsur paduan dapat ditambahkan sebanyak 1-8%. Paduan ini termasuk jenis yang dapat dilakukan proses *heat treatment*. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan unsur lain seperti Mg, Cu, Co dan Cr. Kekuatan tarik yang dicapai dapat lebih dari 50 kg/mm<sup>2</sup>, sehingga paduan ini termasuk yang memiliki sifat kekuatan yang cukup tinggi. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahannya terhadap korosi kurang baik.

## 8. Aluminium 8xxx (Al-lainnya)

Aluminium ini adalah jenis yang mempunyai unsur-unsur paduan lainnya, salah satu contoh adalah Al-Co. Paduan ini memiliki unsur paduan utama Co (*Cobalt*) dan unsur paduan tambahan Mg (*Magnesium*). hal ini dilakukan untuk menambah kekuatannya.

### 2.2. 3. Sifat- Sifat Aluminium

Aluminium memiliki sifat-sifat antara lain:

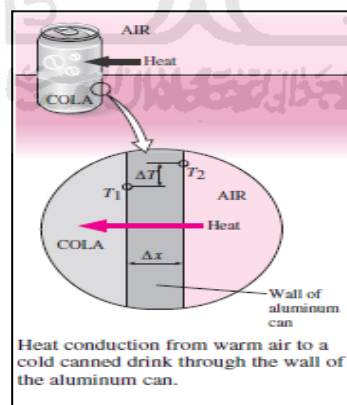
1. Aluminium mudah teroksidasi membentuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang mempunyai titik cair tinggi 2000 °C sedangkan Al ± 600 °C.
2. Aluminium mempunyai daya hantar panas yang tinggi sehingga sulit untuk memanaskan atau mencairkan.
3. Aluminium mempunyai koefisien muai tinggi sehingga mudah terjadi deformasi yang cenderung membentuk retak.
4. Aluminium mempunyai berat jenis rendah sehingga zat-zat yang terbentuk selama pengelasan akan renggang. Keadaan tersebut memudahkan terkandungnya zat-zat yang tidak dikehendaki.
5. Aluminium mempunyai titik cair dan viskositas rendah, sehingga daerah yang terkena pemanasan mudah menetes.
6. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan padat, maka dalam proses pembekuan akan terbentuk rongga-rongga halus.

### 2.3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu/temperatur, dimana semakin semakin besar perbedaan temperatur maka semakin tinggi laju perpindahan panas (Cengel, 2003). Satuan energi yang dikaitkan dengan perpindahan energi (dalam bentuk kalor) adalah kalori. Dimana satu kalori adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram air dari  $14,5^{\circ}\text{C}$  ke  $15,5^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan 1 kalori mendekati sama dengan 4,1868 joule (Cengel, 2003). Dalam melakukan perpindahan panas terdapat 3 cara yakni konduksi, konveksi dan radiasi (Bejan dan Kraus, 2003).

#### 2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi

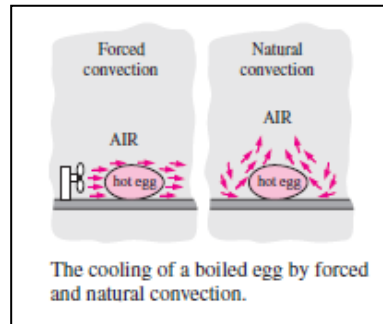
Perpindahan Panas Konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian benda ke bagian yang lain dari benda yang sama atau dari benda yang satu ke benda yang lain, tanpa terjadi perpindahan molekul-molekul dari benda tersebut. Sebagai contoh sebuah batang besi yang dipanaskan pada salah satu ujungnya dengan menggunakan api, maka panas akan berpindah ke ujung batang besi yang lainnya melalui konduksi. Untuk lebih memahami proses perpindahan panas konduksi dapat dilihat gambar 2.2.



Gambar 2.2. Ilustrasi Konduksi (Sumber : Cengel, 2003)

#### 2.3.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida yang bergerak. Gambar 2.3 merupakan ilustrasi dari proses perpindahan panas konveksi.



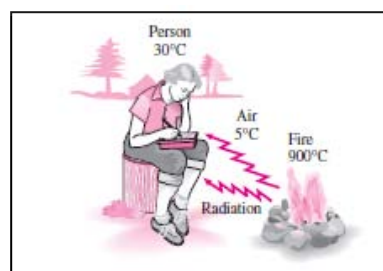
**Gambar 2.3. Ilustrasi Konveksi Bebas dan Paksa**  
(Sumber : Cengel, 2003)

Perpindahan panas konveksi ada dua macam :

1. Konveksi bebas : bila gerakan molekul-molekul fluida secara alami seperti disebabkan oleh adanya perbedaan suhu.
2. Konveksi paksa : bila gerakan molekul-molekul fluida disebabkan oleh suatu alat atau *agent external*, misal : pompa, fan atau kipas.

### 2.3.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas dari suatu permukaan benda ke permukaan benda lain melalui gelombang elektromagnetik, sehingga di sini tidak diperlukan adanya bahan antara atau media. Untuk lebih memahami proses perpindahan panas radiasi dapat dilihat gambar 2.4.

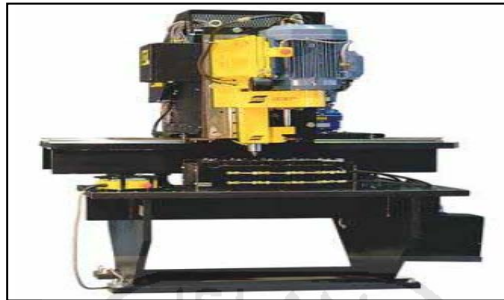


**Gambar 2.4. Ilustrasi Radiasi** (Sumber : Cengel, 2003)

### 2.4. Mesin Las Friksi (*Friction Stir Welding*)

Salah satu dari 40 jenis pengelasan yang berkembang setelah ditemukannya energi listrik adalah proses pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW), proses FSW pertama kali ditemukan dan dikembangkan pada tahun 1991

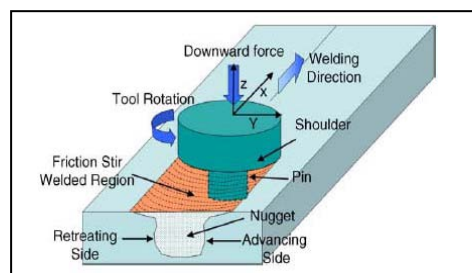
oleh Wayne Thomas dari *The Welding Institute* (TWI) di Inggris (Dawes, 1999). Untuk definisi dari FSW itu sendiri adalah salah satu teknologi penyambungan logam tanpa pelelehan (*solid-state welding*) yang memanfaatkan friksi atau gaya gesekan antara *tool* atau *probe* dengan material yang akan disambung. Untuk lebih jelas dapat dilihat gambar 2.5 yang merupakan gambar salah satu jenis mesin FSW.



**Gambar 2.5. Salah Satu Jenis Mesin FSW**  
(Sumber : Haver, 2011)

#### 2.4. 1. Prinsip Kerja FSW

Mesin las friksi bekerja dengan memanfaatkan gaya gesek yang terjadi antara material dan FSW sebagai sumber energi panas, panas yang dihasilkan harus mencapai lebih dari 0.8 temperatur leleh material, sehingga dapat digunakan untuk menyambung material tersebut (Sonawan dan Suratman, 2003). Untuk dapat lebih memahami prinsip kerja dari mesin las friksi dapat dilihat gambar 2.6.



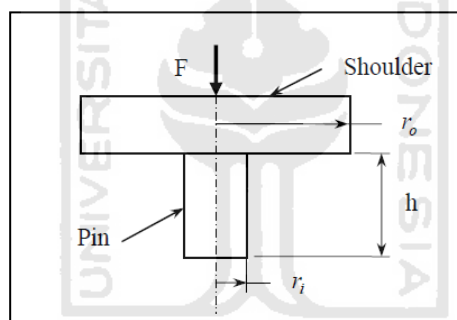
**Gambar 2.6. Ilustrasi Proses Penyambungan Pada Mesin Las Friksi**  
(Sumber : Samir and Ali, 2009)

Melihat gambar 2.6 menjelaskan bahwa mesin las friksi mempunyai prinsip kerja yang tidak jauh berbeda dengan mesin las pada umumnya yang menggunakan panas untuk proses penyambungan, hanya saja yang berbeda pada

proses mesin ini yaitu sumber panas FSW didapat dari gesekan. Sumber panas yang didapat dari gesekan tersebut, besar atau kecilnya panas yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa bagian (*part*) pada mesin las friksi, yakni : geometri *tool*, kecepatan putar, tekanan dan gerak sliding *tool*.

## 1. Geometri *Tool*

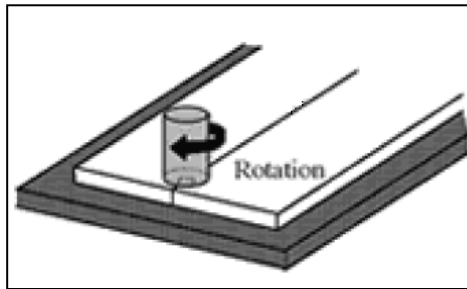
*Tool* merupakan bagian atau *part* utama mesin las friksi, selain *tool* adapula yang menyebutnya dengan pin. Geometri dari *tool*/pin merupakan bagian yang mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan. Pada bagian *tool* dibagi menjadi dua bagian, yakni *shoulders tool* (bahu) dan pin. Dimana bahu dan pin tersebut terdapat geometri yang dipertimbangkan dalam menghasilkan panas, yakni jari-jari bahu yang dilambangkan dengan  $r_0$ , jari-jari pin dilambangkan dengan  $r_1$  dan tinggi pin dilambangkan dengan  $h$ . Untuk lebih memahami geometri *tool* dengan jelas, dapat melihat gambar 2.7.



Gambar 2.7. Geometri Pin/*Tool*  
(Sumber : Samir and Ali, 2009)

## 2. Kecepatan Putar

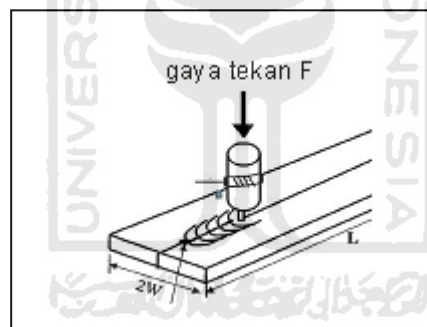
Kecepatan putar (*rotation*) merupakan kecepatan *tool* dalam melakukan gerakan berputar pada saat proses kerja FSW berlangsung. Pada proses penelitian ini, kecepatan putar dari tools merupakan salah satu parameter dalam mendapatkan besaran energi hasil FSW. Dimana kecepatan putar dilambangkan dengan “N” dan satuannya digunakan adalah rotasi per menit (rpm). Kecepatan putar ini akan digunakan untuk mengetahui besar kecepatan sudut yang dihasilkan dari putaran *tool*. Untuk melihat lebih jelas mengenai ilustrasi gerak rotasi *tool* dapat dilihat gambar 2.8.



**Gambar 2.8. Ilustrasi Gerak Rotasi Tool FSW**  
(Sumber : Dawes, 1999).

### 3. Gaya Tekan

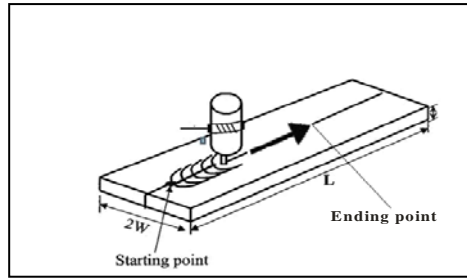
Gaya tekan yang dihasilkan mesin FSW dari pengaturan yang ada pada mesin las friksi, dimana besarnya gaya tekan tersebut dapat disesuaikan dengan kebutuhan pada proses pengelasan. Gaya tekan yang terjadi pada *tool* ini dilambangkan dengan “F” dengan satuan N (Newton). Gambar 2.9. adalah ilustrasi gaya tekan pada proses FSW.



**Gambar 2.9. Ilustrasi gaya tekan FSW**  
(Sumber : Chao dkk, 2003)

### 4. Kecepatan Gerak Translasi

Kecepatan gerak translasi merupakan perpindahan *tool* dari satu titik (*starting point*) ke titik lainnya (*ending point*) yang searah dengan bidang permukaan benda kerja material. Lambang dari kecepatan gerak translasi adalah “v” dengan satuan meter/detik (m/s). Untuk dapat lebih memahami kecepatan gerak translasi dapat dilihat gambar 2.10.



**Gambar 2.10. Ilustrasi kecepatan translasi FSW**  
(Sumber : Chao dkk, 2003)

#### 2.4. 2. Keunggulan Mesin Las Friksi

Seperti sebelumnya telah dijelaskan, FSW merupakan suatu proses penyambungan yang menggunakan panas (minimal 0.8 temperatur leleh) untuk melelehkan material inti dan menggunakannya lelehan (*moulten*) sebagai bahan sambungannya. Sehingga membuat proses pengelasan ini memiliki kekuatan yang hampir merata disetiap sambungan tanpa merubah struktur mikro dari material utama. Selain hal tersebut FSW memiliki beberapa keunggulan lainnya dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya, seperti (Sonawan dan Suratman, 2003):

1. FSW mempunyai sifat mekanis yang kuat dan sempurna karena struktur mikronya tidak dirubah dan penyimpangan yang rendah.
2. FSW dapat digunakan untuk pengelasan konvensional, yang biasanya material memiliki titik leleh yang rendah seperti aluminium.
3. Proses FSW lebih murah karena tidak ada *filler* (material tambahan), tidak ada gas pelindung, bahkan 1 buah *tools* dapat digunakan untuk masa pakai 5000 m pengelasan pada aluminium seri 6XXX.
4. Tidak ada rembesan, hamburan material sisa dari proses pengelasan dan asap yang ditimbulkan selama proses pengelasan.
5. Dapat mengelas sampai ketebalan 50 mm.
6. Tingkat penyusutan yang rendah.
7. Tidak ada percikan api (busur api las).
8. Tidak ada proses grinding atau menyikat yang diperlukan dalam masa pengelasan.



### 2.4.3. Energi Mesin Las Friksi

Menurut hukum termodinamika I mengenai kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, melainkan dapat diubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Sama halnya seperti pada pengelasan FSW, energi panas yang dibangkitkan berasal dari adanya gaya gesek antara *tool* dengan material.

Seperti penjelasan sebelumnya bahwa ada beberapa hal yang mempengaruhi besarnya energi panas hasil dari proses mesin las friksi yakni geometri *tool*, tekanan, kecepatan putar dan kecepatan sliding tool. Maka energi yang dihasilkan FSW dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut (Samir and Ali, 2009).

Persamaan energi pada FSW :

$$E = E_f + sE_p = 2\mu F \left( \frac{1}{3} r_o + \frac{r_i^2}{r_o^2} h \right) \frac{\omega}{v_o} + s\sigma_e \varepsilon_e (2r_i h) \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan :  $E_f$  =energi friksi (J/mm),  $E_p$  = energi defomasi plastis,  $\mu$  = koefisien gesek,  $F$  = gaya tekan (N),  $r_o$  = jari-jari bahu pin (mm),  $r_i$  =jari-jari pin (mm),  $h$  = ketinggian pin (mm),  $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s),  $v_o$  = kecepatan gerak translasi (mm/s),  $\sigma_e$  = tegangan efektif dan  $\varepsilon_e$  = regangan efektif.

$$E_{\text{eff}} = \frac{h}{t} E = \beta E \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan :  $h$  = tinggi pin,  $t$  = tebal material kerja dan  $\beta$  = koefisien transfer efisiensi.

Kemudian persamaan panas pada FSW :

$$\frac{T_{\text{max}}}{T_s} = 1.56 \times 10^{-4} E_{\text{eff}} + 0.54 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan :  $T_{\text{max}}$  = temperatur maksimal (Kelvin),  $T_s$  = temperatur solidus (Kelvin) dan  $E_{\text{eff}}$  = energi efektif FSW.

Melalui persamaan panas pada FSW yang didapat oleh Samir A. Emam dan Ali El Domiaty, dimana terdapat banyak pengaruh terhadap energi yang dihasilkan mesin las friksi. Diantara yang mempengaruhi energi las friksi adanya geometri *tool*, kecepatan putar, kecepatan translasi dan gaya tekan. Pada tabel 2.1 karakteristik material dan geometri tool yang dipakai pada pemodelan energi FSW, kemudian pada tabel 2.4 merupakan energi dan temperatur yang dihasilkan melalui pemodelan oleh Samir A. Emam and Ali El Domiaty dengan memperhatikan parameter-parameter seperti kecepatan putar, kecepatan translasi dan gaya tekan.

**Tabel 2.4. Karakteristik Material Dan Geometri Tool Pada Pemodelan Samir Dan Ali**  
(Sumber : Samir and Ali, 2009)

Aluminium Alloy		6061-T6	6061-T651	6082-T6	7050-T7541	7050-T7451
t (mm)		6.4	8.13	6.0	6.4	19.1
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )		2700	2700	2700	2830	2830
C <sub>p</sub> (J/kg K)		896	896	889	860	860
k (W/m K)		167	167	170	157	157
$\alpha$ (x10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s)		6.9	6.9	7.1	6.5	6.5
T <sub>s</sub> (K)		855	855	879	761	761
Tool geometry	r <sub>0</sub> (mm)	12	12.7	7.5	10.2	9.5
	r <sub>1</sub> (mm)	9.5	5	2.5	3.6	3.2
	H (mm)	6	8	6.0	6.1	6.4

**Tabel 2.5. Energi dan Temperatur Yang Diperoleh Oleh Pemodelan Samir dan Ali**  
(Sumber : Samir and Ali, 2009)

Alloy	Welding Parameter					
	Case	rpm	V <sub>0</sub> (mm/s)	F (kN)	E (J/mm)	T <sub>max</sub> (K)
AA6061-T6	1	344	2.2	13	1756	681
AA6061-T651	2	50	2.4	22	643	547
	3	390	2.4	22	2049	731
AA6082-T6	4	1500	5	7	791	583
	5	1500	8	7	529	547
	6	1500	12	7	384	527

**Tabel Lanjutan 2.5. Energi dan Temperatur Yang Diperoleh Oleh Pemodelan Samir dan Ali**  
(Sumber : Samir and Ali, 2009)

Alloy	Welding Parameter					
	Case	rpm	$V_0$ (mm/s)	F (kN)	E (J/mm)	$T_{max}$ (K)
AA7050-T7451	7	180	0.85	20	1863	622
	8	180	1.3	25	1564	588
	9	180	1.7	28	1373	566
	10	360	1.7	24	1993	636
	11	540	2.5	34	2559	701
AA7050-T7451	12	810	3.8	39	2897	739
	13	520	1	18	3053	532
	14	520	1.9	24	2410	507
	15	700	1	13	2968	529
	16	700	1.9	16	2163	497
	17	700	2.6	18	1978	490

## 2.5. Metode Elemen Hingga (Ansys 12)

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*, FEM) adalah suatu metode numerik yang dilakukan untuk memperoleh solusi melalui pendekatan-pendekatan dari suatu permasalahan yang ada di dunia rekayasa *engineering*. Berbagai pengembangan ilmu rekayasa dan metode numerik dilakukan untuk memecahkan permasalahan dengan berbagai kondisi dan batas. Sehingga diharapkan melalui pengembangan metode elemen hingga ini dapat memudahkan seseorang dalam memprediksi fenomena yang akan terjadi pada elemen-elemen (Nakasone dkk, 2006)

ANSYS 12 merupakan salah satu produk dari CAE (*Computer Aided Engineering*) yang mengembangkan perangkatnya untuk dapat melakukan pemodelan menggunakan metode elemen hingga. Sehingga dapat menganalisis fenomena statis, dinamis, struktur (linier dan nonlinier), perpindahan panas, perpindahan cairan, hingga masalah elektromagnetik yang akan terjadi. Selain itu Ansys juga sangat kompatibel dengan *software-software* CAD yang tersedia di pasaran, seperti AutoCAD dan AutoDesk Inventor, sehingga desain pada *software* tersebut dapat langsung dikonversikan ke dalam Ansys.

### **2.5.1. Proses/Tahapan Pada Ansys 12**

Secara umum, untuk mendapatkan solusi elemen pada Ansys 12, dapat dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut.

#### **1. *Preprocessing: Defining The Problem***

Langkah-langkah utama dalam *preprocessing* adalah mendefinisikan geometri dan bentuk (Poin, garis, area atau volume) hingga menjadi model dari elemen analisis yang kemudian dilakukan tahap selanjutnya yakni menentukan jenis elemen, bahan dan sifat geometrik, dan serta melakukan *mesh* terhadap pemodelan yang telah dilakukan.

#### **2. *Solution: Assigning Loads, Constraints, And Solving***

Tahapan ini untuk menentukan beban (titik atau tekanan), kendala (translasi dan rotasi), hingga menyelesaikan pengaturan untuk mendapatkan solusi persamaan yang akan dihasilkan.

#### **3. *Postprocessing: Further Processing And Viewing Of The Results***

Dalam tahap terakhir ini, dilakukan untuk melihat hasil dapat berupa perpindahan nodal, elemen kekuatan dan momen, *plot defleksi*, kontur, diagram tekanan dan suhu.

### **2.5.2. Bagian-Bagian Tampilan Muka Ansys 12**

Pada tampilan muka dari program Ansys 12 seperti pada gambar 2.11, secara garis besar dapat dibagi menjadi 5 bagian yang mempunyai fungsi masing-masing yakni :

#### **1. *Utility Menu***

*Utility Menu* berisi fungsi yang tersedia di seluruh ANSYS, seperti kontrol file, pilihan, kontrol grafis dan parameter.

#### **2. *Line Input***

*Line input* menunjukkan cara cepat dan memungkinkan untuk melakukan perintah secara langsung.

### 3. *Toolbar*

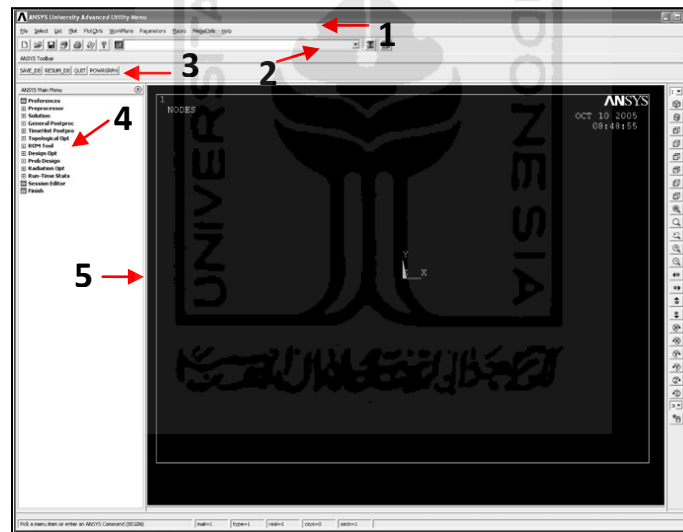
Toolbar berisi tombol yang dapat mengeksekusi perintah umum yang biasa digunakan pada ANSYS. Pada bagian ini dapat menekan perintah lebih dari satu tombol.

### 4. *Main Menu*

*Main Menu* berisi fungsi utama ANSYS yang terorganisir oleh *preprocessor*, *solution*, *postprocessor* dan optimasi desain umum. Pada bagian ini, sebagian besar perintah pemodelan dijalankan.

### 5. *Graphics Windows*

*Graphics Windows* adalah tampilan grafis. Disinilah pemodelan dalam berbagai tahap konstruksi dan hasil dari analisis dapat dilihat.



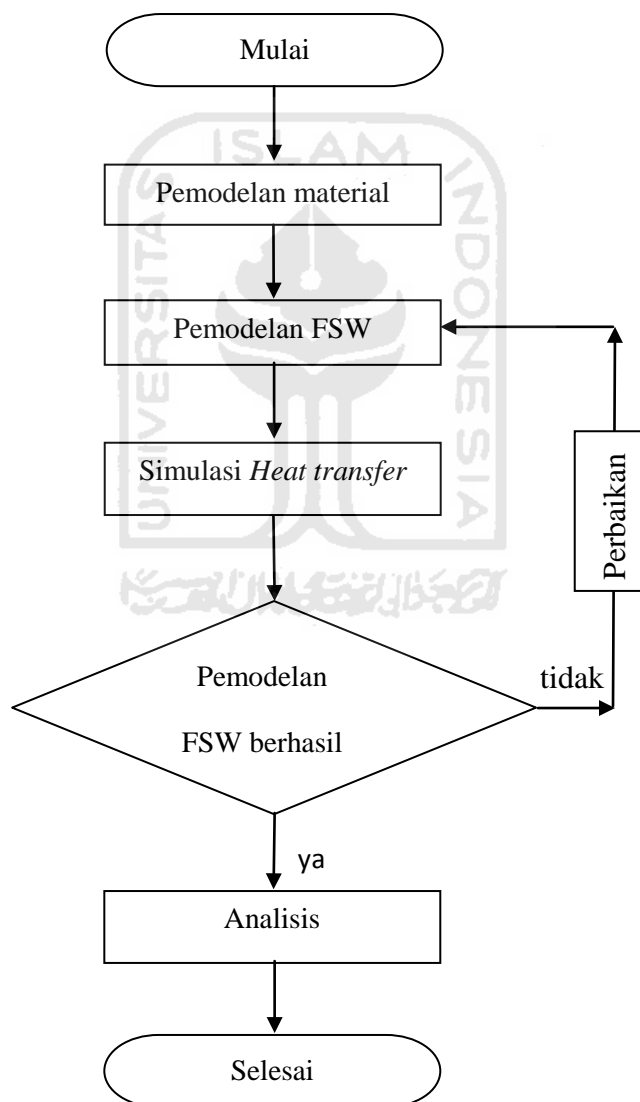
Gambar 2.11. Tampilan awal ANSYS 12

(Sumber : Nakasone dkk, 2006)

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdiri dari berbagai tahapan (alur) dari awal hingga akhir penelitian, adapun alur metode penelitian seperti pada ilustrasi gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3. 2. Pemodelan Material

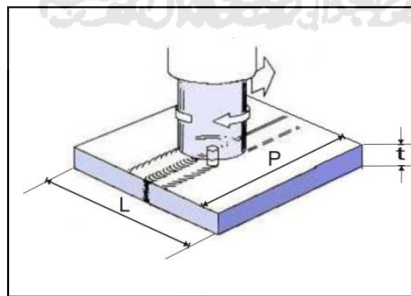
Pemodelan dari material dalam bentuk animasi dengan mempertimbangkan sifat dari material yang akan dilas, terutama sifat mengenai titik leburnya. Untuk penelitian ini material yang digunakan adalah aluminium alloy AA6061-T651 dengan sifat-sifat fisik pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1. Sifat dari AA6061-T651**

(Sumber : Samir and Ali, 2009)

sifat	Besar
$\rho$	2700 kg/m <sup>3</sup>
Cp	896 J/kg K
K	167 W/m K
$\alpha$	6.9 (x 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s)
Ts	855 K

Selain dari sifat fisik, geometri dari material juga dipertimbangkan dalam pemodelan. Karena geometri akan berpengaruh terhadap energi yang dibutuhkan, adapun geometri berupa ketebalan (t), panjang (P) dan lebar (L). Seperti pada gambar 3.2 merupakan geometri yang digunakan dalam pemodelan material.



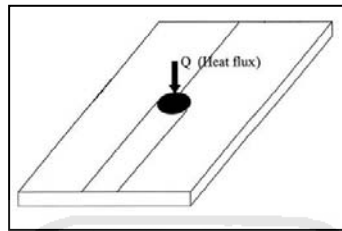
**Gambar 3.2. Geometri material**

(Sumber : Sonawan dan Suratman, 2003)

Setelah memperhatikan sifat fisik dan geometri dari plat, dalam pemodelan material juga menentukan kondisi yang terjadi disekitar material pada saat akan dilakukan proses FSW. Seluruh dari sifat dan kondisi material setelah ditentukan maka selanjutnya material diproses pemodelan menggunakan perangkat lunak Ansys 12.

### 3.3. Pemodelan Mesin Las Friksi

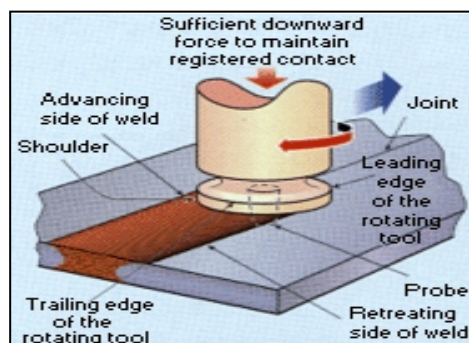
Pada pemodelan mesin las, yang dipertimbangkan adalah geometri dari *tool*, karena geometri dari *tool* khususnya diameter bahu *tool* ( $r_0$ ) merupakan luasan dari panas (kalor) yang terjadi pada saat mesin bekerja. Selain itu pada pemodelan *tool* juga dimasukan besarnya energi panas yang terjadi akibat gaya gesek mesin las friksi. Kesemua ini dimasukan kedalam perangkat lunak Ansys 12 sebagai pendukung data untuk melakukan analisis.



Gambar 3.3. Geometri bahu *tool* ( $r_0$ ) = jari-jari energi panas FSW  
(Sumber : Chao dkk, 2003)

### 3.4. Simulasi Heat Transfer

Setelah pemodelan material dan mesin las friksi, maka tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi gaya yang terjadi mesin friksi dengan memodelkan proses penyambungan logam aluminium dengan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga. Pada pemodelan ini tentunya diusahakan untuk sesuai dengan kondisi riil pada saat terjadinya pengelasan, seperti halnya kondisi sumber panas, pergerakan sliding *tool* dan kondisi sekitar material. Sehingga data yang didapat lebih akurat. Gambar 3.4 merupakan ilustrasi proses FSW yg terjadi pada saat pengelasan berlangsung.



Gambar 3.4. Proses FSW (Sumber : Dawes, 1999)



### 3. 5. Analisis Data Hasil

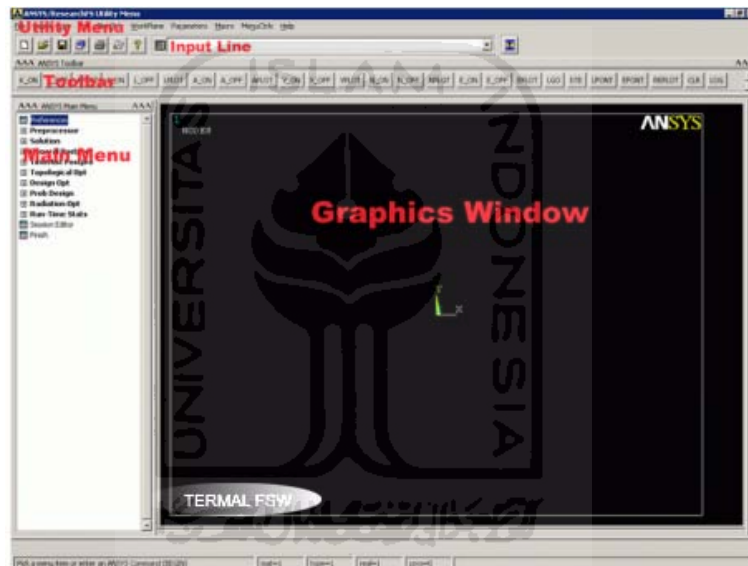
Hasil dari simulasi tersebut didapat data berupa perpindahan panas dan laju perpindahan kalor yang terjadi pada material pada saat proses FSW. Kemudian data tersebut dikaji dengan merujuk kepada teori temperatur leleh dari material tersebut. Dimana kalor yang dihasilkan FSW tersebut sudah cukup dan bisa meleburkan material atau kah belum cukup. Selanjutnya dari hasil tersebut didapat data berupa rekomendasi parameter dalam pengaturan mesin las friksi berupa tekanan, kecepatan putar dan linier telah sesuai dengan hasil panas yang sesuai untuk melakukan penyambungan logam.



## BAB IV ANALISIS DAN HASIL

### 4.1. Pemodelan Material (*Preprocessor*)

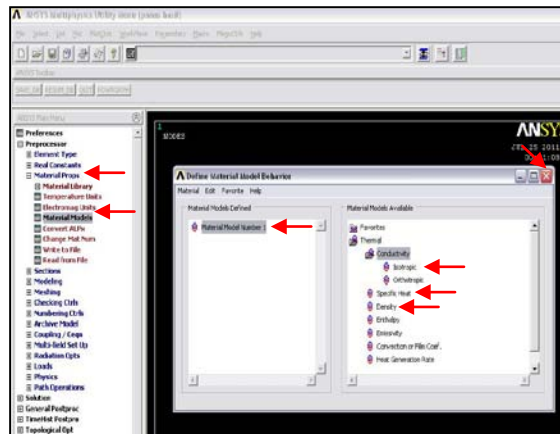
Pemodelan material (*preprocessor*) dilakukan pada tahap awal, tahapan dilakukan dengan memasukkan data sifat, kemudian geometri dari material yang akan disimulasikan hingga *meshing* material. Kesemua tahapan awal ini dilakukan pada bagian *main menu* yang merupakan bagian utama dalam perangkat lunak Ansys 12. Gambar 4.1 berikut merupakan *main menu* pada Ansys 12.



Gambar 4.1 Tampilan Menu Ansys 12

#### 4.1.1. Memasukkan Sifat fisik Material

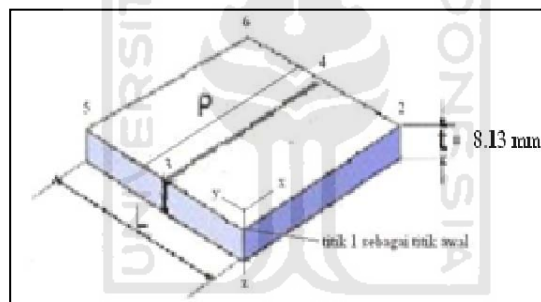
Pertama dalam pemodelan material adalah dengan memasukkan sifat-sifat fisik dari material aluminium AA 6061-T651 pada perangkat lunak Ansys 12, adapun sifat tersebut seperti: berat jenis, konduktivitas termal dan *film coefficient* pada material model perangkat Ansys 12. Kemudian setelah data dimasukkan pilih *exit* dan selesai. Gambar 4.2 merupakan proses pemodelan sifat-sifat fisik pada Ansys 12.



Gambar 4.2. Memasukan Sifat Fisik Material Pada Material Model

#### 4.1.2. Memodelkan Geometri Material

Pemodelan geometri dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu titik awal seperti pada gambar 4.3 titik awal pada material.

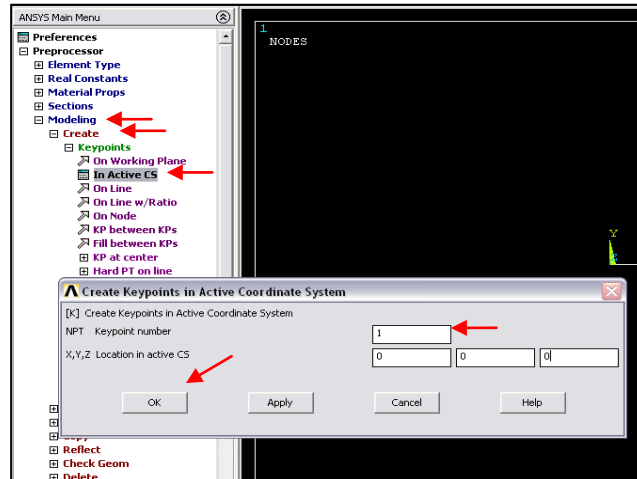


Gambar 4.3 Titik 1 Merupakan Titik Awal Proses Pemodelan Geometri

Setelah menentukan titik awal maka dilakukan *modeling* material pada Ansys 12 dengan memilih pada *menu: preprocessor> modeling> create> keypoints> in\_active\_cs> enter*. Adapun koordinat titik seperti gambar 4.3 terdapat pada tabel 4.1 dan cara membuat titik (*keypoint*) seperti pada gambar 4.4.

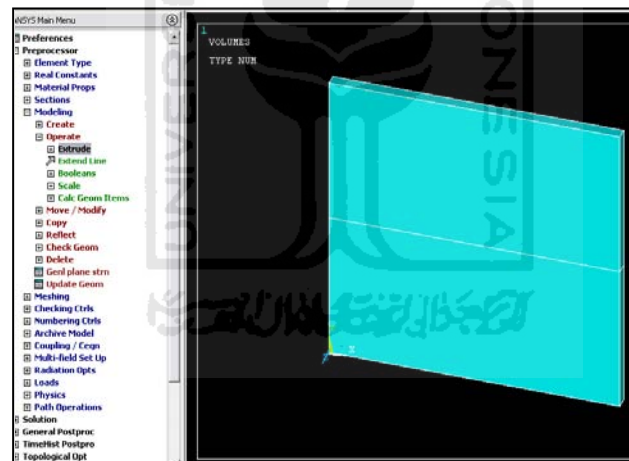
Tabel 4.1. Posisi Titik-Titik Geometri Plat Aluminium

Titik	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Titik	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
1	0	0	0	7	0	0	-0.00813
2	0.2	0	0	8	0.2	0	-0.00813
3	0	0.1	0	9	0	0.1	-0.00813
4	0.2	0.1	0	10	0.2	0.1	-0.00813
5	0	0.2	0	11	0	0.2	-0.00813
6	0.2	0.2	0	12	0.2	0.2	-0.00813



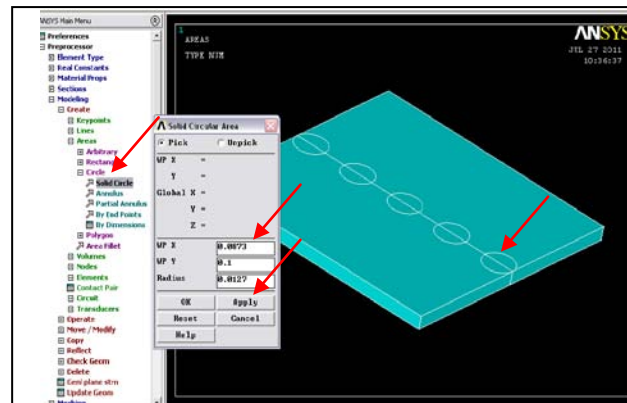
**Gambar 4.4 Memasukan Nilai Keypoint**

*Keypoint* tersebut menjadi titik acuan dalam pemodelan material, dengan membuat garis-garis antar *keypoint*, kemudian area dan setelah itu membuat volume sesuai dengan geometri pada Ansys 12 seperti gambar 4.5.



**Gambar 4.5. Model Material AA6061-T651 Pada Ansys 12**

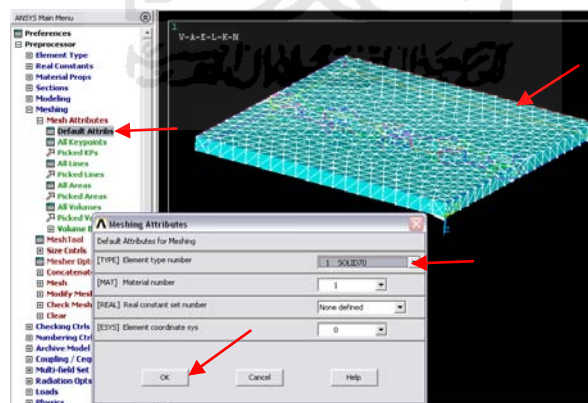
Setelah geometri dari material telah jadi, tahapan pemodelan geometri belum selesai seutuhnya, karena masih diperlukan penambahan geometri dari *tool* yang bersinggungan pada material. Bentuk geometri ini berupa lingkaran pada permukaan, dimana lingkaran akan digunakan untuk menjelaskan pada proses selanjutnya letak dari daerah yang terkena beban temperatur nantinya. Gambar 4.6 merupakan proses dari pemberian area lingkaran.



Gambar 4.6 Proses Pembuatan Area Lingkaran

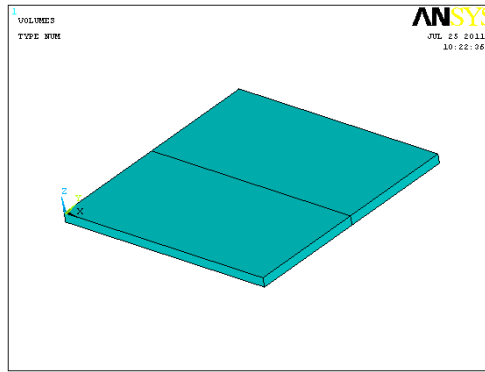
#### 4.1.3. Meshing

Setelah geometri material jadi langkah selanjutnya adalah melakukan *meshing* produk/*material model*. Hal ini dilakukan untuk membagi volume dalam bentuk nodal-nodal, semakin banyak nodalnya maka semakin besar ketelitian dari analisisnya. Untuk analisis penelitian ini menggunakan element “solid 70”, element ini memiliki kemampuan untuk analisis termal 3D secara *steady state* maupun *transient* yang berbentuk kubus dengan 8 node pada setiap sudutnya. Untuk lebih memahami dapat dilihat gambar 4.7 mengenai proses dan produk yang telah di *meshing*.



Gambar 4.7. Proses Meshing Dan Produk Yang Telah Di Meshing

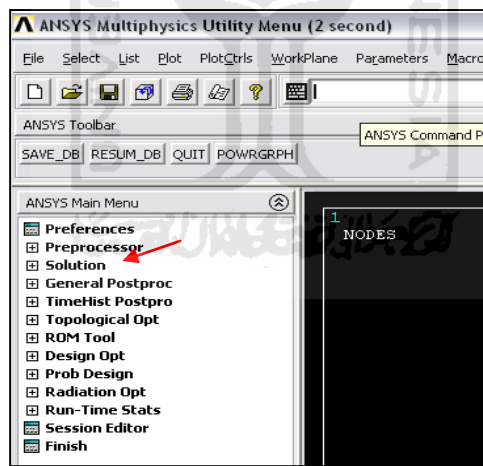
Bila tahapan pemodelan geometri, sifat-sifat fisik dan *meshing* telah selesai, secara garis besar pemodelan material telah jadi dan siap untuk ketahapan selanjutnya yakni memasukan data kondisi material (*solution*). Lihat gambar 4.8 berikut adalah model material yang akan dianalisis dengan beban secara *transient*.



Gambar 4.8. Model Material AA 6061-T651 Yang Sudah Siap Dibebani Dan Analisis

#### 4.2. Pemodelan Kondisi Material (*Solution*)

Secara garis besar proses pemodelan material (*preprocessor*) telah selesai dilakukan, maka masuk tahapan selanjutnya adalah tahapan memodelkan kondisi material “*solution*” yang terdiri dari memberikan data mengenai kondisi sekitar yang mempengaruhi material dan beban temperatur yang diberikan. Gambar 4.9 menunjukkan daerah perintah kerja *solution* pada Ansys 12.

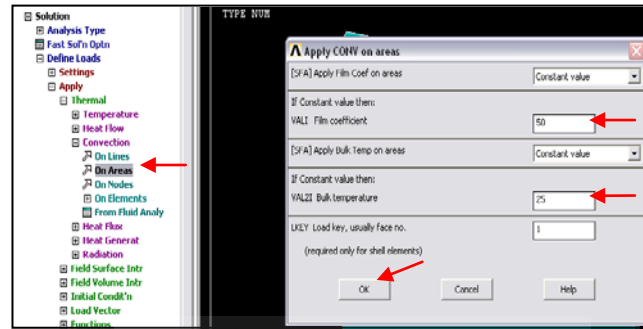


Gambar 4.9. *Solution* Pada Ansys 12

##### 4.2.1. Kondisi Sekitar Material Pada Proses *Transfer Energi*

Tahapan memodelkan kondisi yang terjadi pada daerah sekitar material merupakan tahapan awal dari *solution*, pemodelan dilakukan dengan mengasumsikan keadaan sekitar ketika terjadinya proses pemberian beban. Untuk kasus ini, kondisi yang terjadi disekitar material diasumsikan sebagai perpindahan

kalor secara konveksi bebas. Hal ini dikarenakan material berada pada keadaan udara terbuka tanpa ada paksaan dari luar yang mempengaruhi perpindahan panas seperti kipas atau *fan*. Untuk besar dari koefisien konveksi bebas yang terjadi pada material saat temperatur udara sekitar 25<sup>0</sup> C adalah 50 watt/(m<sup>2</sup>.C). Gambar 4.10 berikut adalah proses pemberian data mengenai kondisi sekitar material.



Gambar 4.10. Memasukkan Data Untuk Memodelkan Kondisi Material

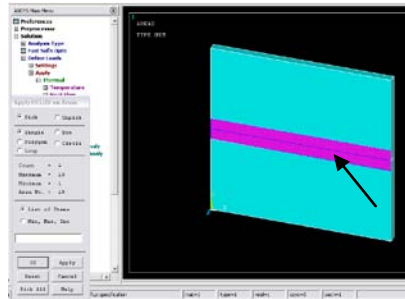
#### 4.2.2. Kondisi Beban Temperatur Pada Material

Pemodelan proses beban (temperatur) pada mesin las friksi khususnya pada pemberian beban secara *transient* pada Ansys 12 berbeda dengan cara *steady-state*. Pada analisis *transient*, data yang dimasukkan berupa beban temperatur (Celcius/Kelvin). Sehingga sebelum memasukkan data kondisi beban berupa temperatur secara *transient*, yang terlebih dahulu dilakukan adalah pemodelan energi pada material untuk mendapatkan nilai temperatur yang terjadi pada proses pengelasan.

Pemodelan *heat transfer* ini dapat dilakukan secara manual yakni dengan pemodelan material *heat transfer (preprocessor)* yang sama seperti sebelumnya, kemudian kondisi proses *heat transfer (solution)* dan terakhir tahapan hasil (*general postprocessor*) berupa temperatur pada material.

##### 1. Pemodelan Material Pada *Heat Transfer* Energi FSW

Sama seperti pemodelan material yang sebelumnya telah dibuat, pemodelan proses *heat transfer* energi FSW dimulai dengan membuat model material. Akan tetapi yang menjadi perbedaan adalah dengan ditambahkan area pada material yang merupakan daerah *heat flux*. Gambar 4.11 merupakan area yang menerima *heat flux* saat proses pengelasan.



Gambar 4.11. Daerah yang menerima *Heat flux*

Garis yang berwarna ungu pada gambar 4.11 merupakan penyederhanaan daerah yang mendapat *heat flux*, dimana lebarnya daerah tersebut sama dengan diameter dari *tool* FSW dan panjang daerah tersebut sama dengan panjang pengelasan.

## 2. Memasukan Energi (*heat flux*)

Energi yang didapat dari referensi Samir dan Ali. adalah jumlah energi joule per satuan jarak perpindahan *tool* (J/mm). Untuk itu, energi ini harus dikonversi dengan dimasukkan dalam persamaan sehingga didapat jumlah energi dalam bentuk *heat flux*.

Persamaan *Heat flux* :

$$q = \frac{E_{\text{eff}} \times PL}{t \times Lt} \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana :  $q$  = *heat flux*,  $E_{\text{eff}}$  = energi efektif las friksi,  $PL$  = panjang pengelasan,  $t$  = waktu tempuh las dan  $Lt$ = luas penampang *tool*.

maka melalui persamaannya didapat *heat flux* untuk :

$$E_{\text{eff}} = 643 \text{ (J/mm)} = 6.43 \times 10^5 \text{ (W.s/m)}$$

$$PL = 200 \text{ (mm)} = 0.2 \text{ m}$$

$$t = 200 \text{ (mm)} / 2,4 \text{ (m/s)} = 83.33 \text{ second}$$

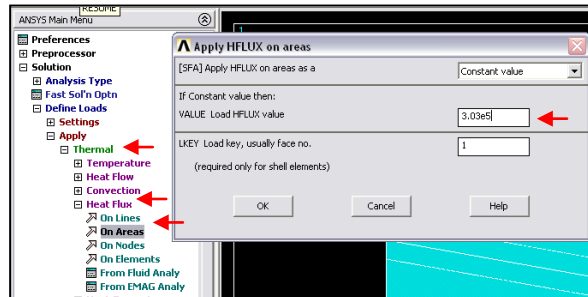
$$LA = 12.7 \times 2 \text{ (mm)} \times 200 \text{ (mm)} = 5080 \text{ mm}^2 = 0.00508 \text{ m}^2$$

$$q = \frac{6.43 \times 10^5 \text{ (W.s/m)} \times 0.2 \text{ (m)}}{83.33 \text{ S} \times 0.00508 \text{ m}^2}$$

$$q = 3.03 \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

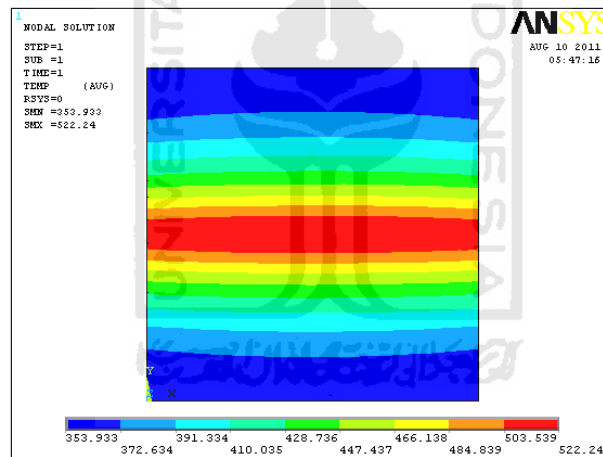


Setelah *heat flux* didapat hasil berupa energi panas (temperatur), selanjutnya energi dapat dimasukkan kedalam model proses *heat transfer*. Gambar 4.12 proses memasukan data *heat flux* pada Ansys 12.



**Gambar 4.12. Memasukan Data Heat Flux Proses Heat Transfer Pada Ansys 12**

Energi panas (K) yang didapat dari pemodelan ini adalah 522 K. dimana data ini dapat dilihat seperti pada gambar 4.13 berikut.



**Gambar 4.13. Temperatur Dari Proses Heat Transfer**

Setelah proses pemodelan *heat transfer* selesai dilakukan, maka data hasil berupa beban temperatur seperti gambar 4.13 dapat dimasukkan pada pembebanan temperatur material secara *transient*. Memasukkan data beban temperatur *transient* pada Ansys 12 dilakukan dengan menggunakan “*command prompt*” yang dapat dibuat terlebih dahulu menggunakan perangkat bantuan “*Notepad*”. Perintah memasukkan beban temperatur sebesar  $249^{\circ}\text{C}$  secara *transient* dengan perpindahan beban setiap 16 detik dapat dituliskan pada *command prompt* sebagai berikut:

COMMAND PROMPT :

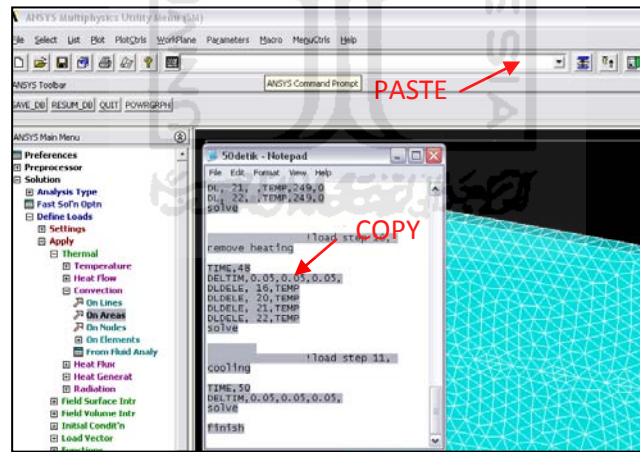
```
/SOLU solve
ANTYPE,TRANS !load step 5, heating, 25 to 200 c, on hole
TRNOPT,FULL TIME,18
KBC,0 DELTIM,0.05,0.05,0.05,
OUTRES,ALL,ALL, DL, 3, ,TEMP,249,0
DL, 5, ,TEMP,249,0
DL, 6, ,TEMP,249,0
DL, 8, ,TEMP,249,0
!load step 1, initial condition, 25 c solve
TIME,0.0001 !load step 6, keep heating
DELTIM,0.0001,0.0001,0.0001 TIME,31.95
TUNIF,25, DELTIM,0.05,0.05,0.05,
solve DL, 3, ,TEMP,249,0
!load step 2, heating, 25 to 249 c, on hole DL, 5, ,TEMP,249,0
TIME,10 DL, 6, ,TEMP,249,0
DELTIM,0.05,0.05,0.05, DL, 8, ,TEMP,249,0
DL, 10, ,TEMP,249,0 solve
DL, 11, ,TEMP,249,0 !load step 7, remove heating
DL, 13, ,TEMP,249,0 TIME,32
DL, 15, ,TEMP,249,0 DELTIM,0.05,0.05,0.05,
solve DLDELE, 3, ,TEMP,
!load step 3, keep heating DLDELE, 5, ,TEMP,
TIME,15.95 DLDELE, 6, ,TEMP,
DELTIM,0.05,0.05,0.05, DLDELE, 8, ,TEMP,
DL, 10, ,TEMP,249,0 solve
DL, 11, ,TEMP,249,0 !load step 8, heating, 25 to 200 c, on hole
DL, 13, ,TEMP,249,0 TIME,34
DL, 15, ,TEMP,249,0 DELTIM,0.05,0.05,0.05,
solve DL, 16, ,TEMP,249,0
!load step 4, remove heating DL, 20, ,TEMP,249,0
TIME,16 DL, 21, ,TEMP,249,0
DELTIM,0.05,0.05,0.05, DL, 22, ,TEMP,249,0
DLDELE, 10, ,TEMP, solve
DLDELE, 11, ,TEMP,
DLDELE, 13, ,TEMP,
DLDELE, 15, ,TEMP,
```

```

!load step 9, keep heating
TIME,47.95
DELTIM,0.05,0.05,0.05,
DL, 16, ,TEMP,249,0
DL, 20, ,TEMP,249,0
DL, 21, ,TEMP,249,0
DL, 22, ,TEMP,249,0
solve
!load step 10, remove heating
TIME,48
DELTIM,0.05,0.05,0.05,
DLDELE, 16,TEMP
DLDELE, 20,TEMP
DLDELE, 21,TEMP
DLDELE, 22,TEMP
solve
!load step 11, cooling
TIME,50
DELTIM,0.05,0.05,0.05,
solve
finish.

```

Setelah perintah dituliskan dengan menggunakan perangkat bantuan *notepad*, tahapan selanjutnya adalah memasukan data dengan menggunakan “*copy paste*” pada bagian “*input line*”. Gambar 4.14 proses memasukan perintah “*command prompt*” pada *input line*, untuk memerintahkan pembebanan *transient* pada material.

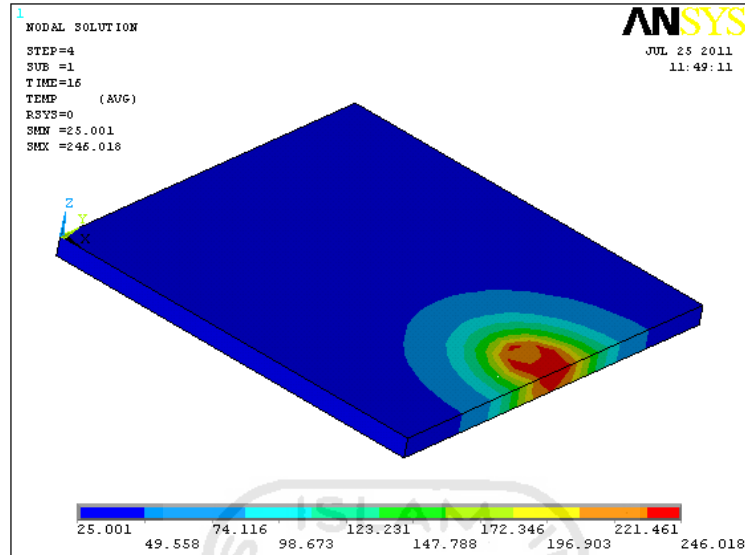


Gambar 4.14. Proses Memasukan Perintah “*Command Prompt*” Pada *Input Line*

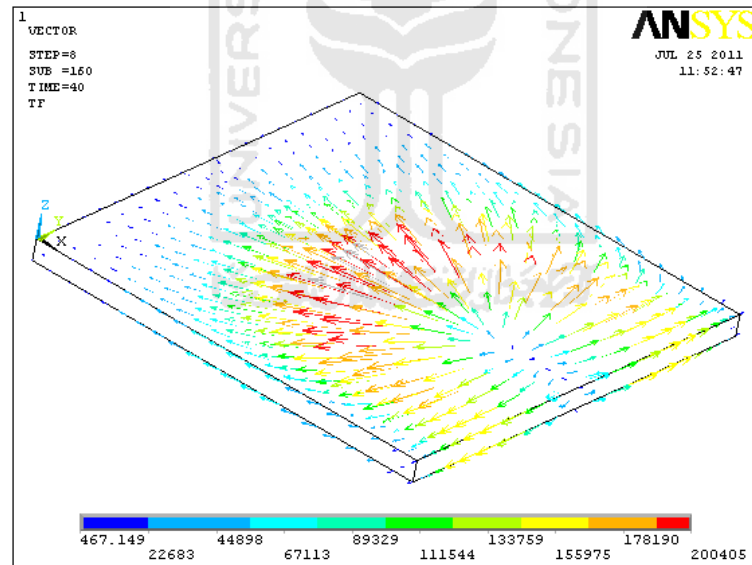
### 4. 3. Data Hasil (*General Postprocessor*)

Data hasil pemodelan *heat transfer* dapat dilakukan setelah semua tahapan telah dilakukan, data hasil didapati dengan masuk kebagian “*general postproc*”, pada bagian *main menu*, kemudian memilih hasil *output* yang akan digunakan. Data hasil dapat berupa tabel, animasi gambar *heat transfer* dan gambar beban

temperatur maksimal pada material. Berikut gambar 4.15 dan 4.16 adalah gambar data hasil oleh analisis Ansys 12.



Gambar 4.15. Distribusi Temperatur Pada Saat Waktu 16 Detik



Gambar 4.16. Vector Result of heat flux Pada Saat Waktu 32 Detik

#### 4. 4. Perbaikan

Pada percobaan ini dengan menggunakan tiga dimensi maka nodal yang dihasilkan cukup besar sehingga data yang dianalisis oleh Ansys 12 hanya maksimal hingga pada detik 32 saja. Selain itu perpindahan *tool* setiap 16 detik

membuat jarak waktu pada saat proses waktu perpindahan dari posisi *tool* 1 ke lainnya sangat jauh sehingga pemodelan kurang maksimal. Untuk itu dilakukan perbaikan dengan membuat analisis menjadi 2 dimensi dan mengambil menjadi bagian kecil dengan pertimbangan kondisi material *aximetric* dengan kondisi lainnya dan waktu yang digunakan adalah perpindahan setiap 1 detik dengan jarak 0.0024 meter. Untuk tahapan perbaikan yang dilakukan sama dengan pemodelan 3 dimensi sebelumnya yakni tahapan *preprocessor*, *solution* dan *general postprocessor*.

#### **4. 4. 1. Pemodelan Material Pada *Preprocessor***

Proses yang dilakukan dari awal hingga akhir pemodelan sama seperti pada pemodelan 3D sebelumnya, hanya bentuk dirubah menjadi 2 dimensi dan analisis dilakukan pada sebagian material saja dengan asumsi bahwa pada sisi material yang lain juga mengalami kondisi yang sama atau bisa disebut *aximetric* terhadap lainnya.

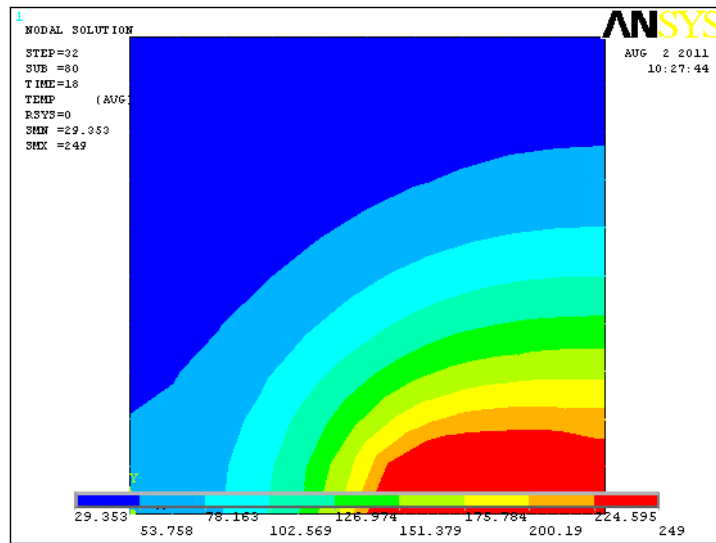
#### **4. 4. 2. Pemberian Beban Pada *Solution***

Proses Memberikan beban berupa temperatur dan memasukan asumsi mengenai kondisi disekitar material tidak berbeda jauh, yang menjadi perbedaan dengan pemodelan 2 dimensi adalah berupa kondisi material yang sebelumnya mengalami konveksi pada area (sisi-sisinya) karena dianimasikan kedalam 2 dimensi maka konveksi diasumsikan terjadi pada garis tepi material.

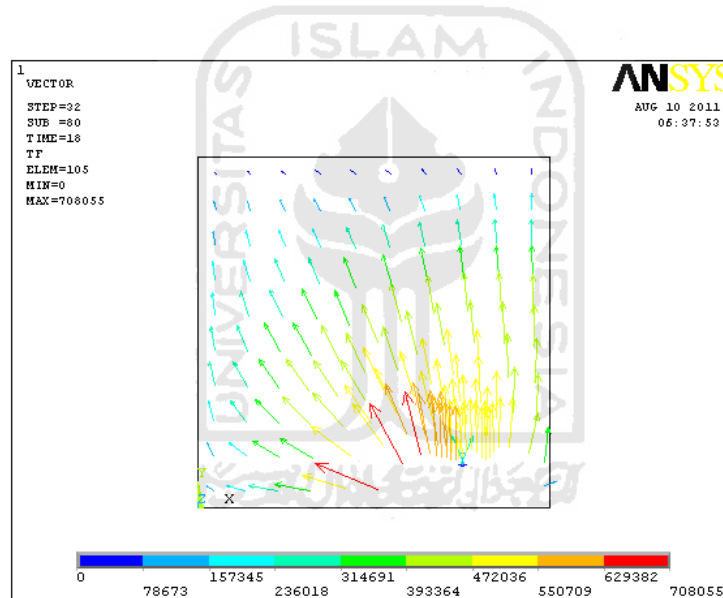
Sedangkan untuk pembebanan secara transient dari analisis 2 dimensi ini sama, yakni dengan *command prompt*, hanya yang menjadi perbedaan beban diberikan dengan perpindahan setiap satu detik agar hasil yang didapat lebih baik.

#### **4. 4. 3. Data Hasil Pada *General Postprocessor***

Data hasil yang didapat berdasarkan perbaikan, memiliki resolusi yang lebih baik pada animasinya karena perpindahan dilakukan setiap satu detik dan hasil dari pemodelan material secara sebagian saja dengan asumsi bahwa daerah tersebut *aximetric* sehingga pembagian nodal bisa lebih kecil dan detail. Berikut gambar 4.17 dan 4.18 merupakan hasil dari analisis *heat transfer* dengan perpindahan setiap 1 detik.



Gambar 4.17. Distribusi Temperatur Pada Saat Waktu 18 Detik



Gambar 4.18. Vector Result of heat flux Pada Saat Waktu 18 Detik

#### 4.5. Analisis Data Hasil

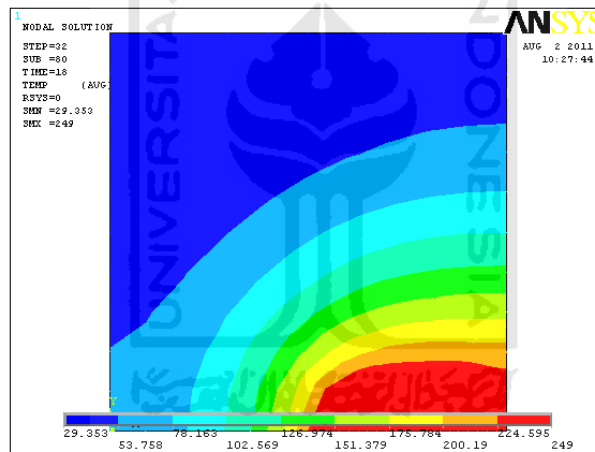
Pada pemodelan proses termal mesin las friksi yang dihasilkan melalui perhitungan dan disimulasikan menggunakan Ansys 12. Maka berikut ini tabel 4.2 merupakan data hasil dari percobaan yang dilakukan pada material Aluminium Alloy AA 6061-T651 yang dihasilkan oleh Ansys 12 dan juga Samir dan Ali. dengan berbagai parameter dan ketebalan material yang berbeda pada masing-masing case.

**Tabel 4.2. Energi dan Temperatur dengan Perhitungan Dan Analisis Ansys 12.  
Pada Material AA 6061-T651**

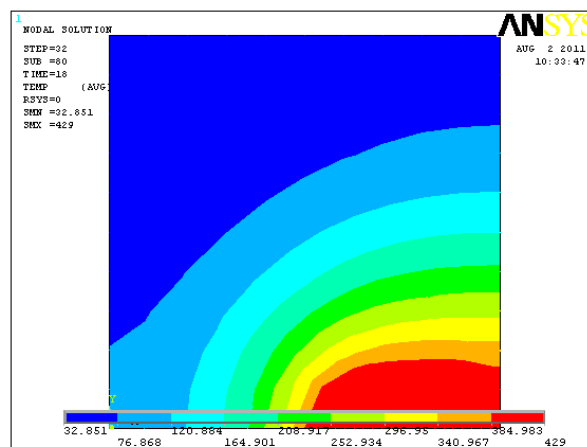
case	rpm	$t = 8.13\text{mm}$ , $r_0 = 12.7\text{ mm}$ , $r_1 = 5.0\text{ mm}$ , $h = 8,0\text{ mm}$ , $v_0 = 2.4\text{ mm/s}$ , $F = 22\text{ kN}$ .			
		Samir dan Ali		Ansys 12	
		E (J/mm)	T <sub>max</sub> (K)	q (x 10 <sup>5</sup> W/m <sup>2</sup> )	T <sub>max</sub> (K)
1	50	634	544	3.03	522
2	300	2081	739	9.83	702
3	350	2341	774	11.06	738
4	450	2660	816	12.56	774
5	550	3251	895	15.36	855
case	rpm	$t = 4\text{ mm}$ , $r_0 = 25.4\text{ mm}$ , $r_1 = 7.5\text{ mm}$ , $h = 3,9\text{ mm}$ , $v_0 = 0.208\text{ mm/s}$ , $F = 4\text{ kN}$ .			
		Samir dan Ali		Ansys 12	
		E (J/mm)	T <sub>max</sub> (K)	q (x 10 <sup>4</sup> W/m <sup>2</sup> )	T <sub>max</sub> (K)
6	4000	6016	1264	8.21	1213
7	5000	6930	1386	9.485	1338
8	6000	7425	1452	10.16	1402
9	8000	9524	1732	13.03	1681
case	rpm	$t = 4\text{ mm}$ , $r_0 = 25.4\text{ mm}$ , $r_1 = 7.5\text{ mm}$ , $h = 3,9\text{ mm}$ , $v_0 = 0.416\text{ mm/s}$ , $F = 4\text{ kN}$ .			
		Samir dan Ali		Ansys 12	
		E (J/mm)	T <sub>max</sub> (K)	q (x 10 <sup>4</sup> W/m <sup>2</sup> )	T <sub>max</sub> (K)
10	4000	4021	998	11.02	958
11	5000	4524	1065	12.40	1027
12	6000	5041	1134	13.82	1095
13	8000	6092	1274	16.69	1235
case	rpm	$t = 4\text{ mm}$ , $r_0 = 25.4\text{ mm}$ , $r_1 = 7.5\text{ mm}$ , $h = 3,9\text{ mm}$ , $v_0 = 0.833\text{ mm/s}$ , $F = 4\text{ kN}$ .			
		Samir dan Ali		Ansys 12	
		E (J/mm)	T <sub>max</sub> (K)	q (x 10 <sup>4</sup> W/m <sup>2</sup> )	T <sub>max</sub> (K)
14	4000	2964	852	16.25	818
15	5000	3264	897	17.89	857
16	6000	3527	932	19.33	890
17	8000	4081	1006	22.37	964

Pemodelan mesin las friksi yang dilakukan dengan menggunakan Ansys 12, berdasarkan data hasil memiliki temperatur yang lebih rendah bila dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan metode perhitungan Samir dan Ali. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh deformasi material pada temperatur yang dihasilkan mesin las friksi, sehingga energi yang dihasilkan merupakan hasil dari penjumlahan pengaruh gesekan dan deformasi material. Sedangkan pada pemodelan yang dilakukan menggunakan Ansys 12 temperatur yang didapat pada material dipengaruhi gesekan yang terjadi akibat putaran, kecepatan *transient* dan tekanan *tool* pada saat proses mesin las friksi, hingga sejalan dengan waktu (t) proses ini menghasilkan *heat flux*.

Untuk distribusi kalor masing-masing *case* pada tabel 4.2 diatas dapat dilihat pada Gambar 4.19 sampai dengan 4.32 yang menggambarkan distribusi kalornya terhadap waktu.

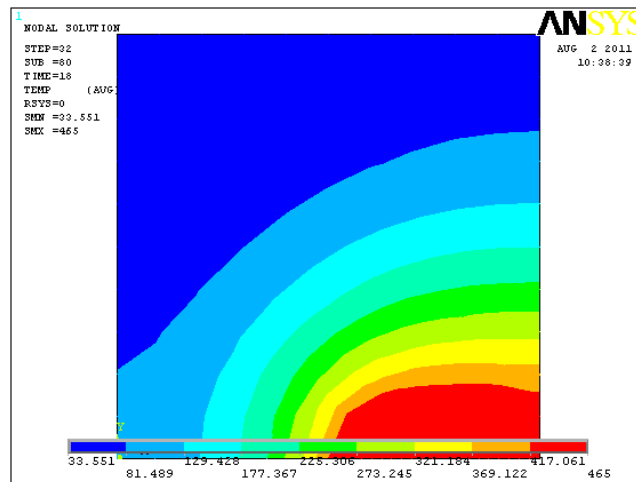


Gambar 4.19. Hasil Data Distribusi Kalor *Case 1* Dengan  $T_{max}$  522 K Saat  $T = 10$  S

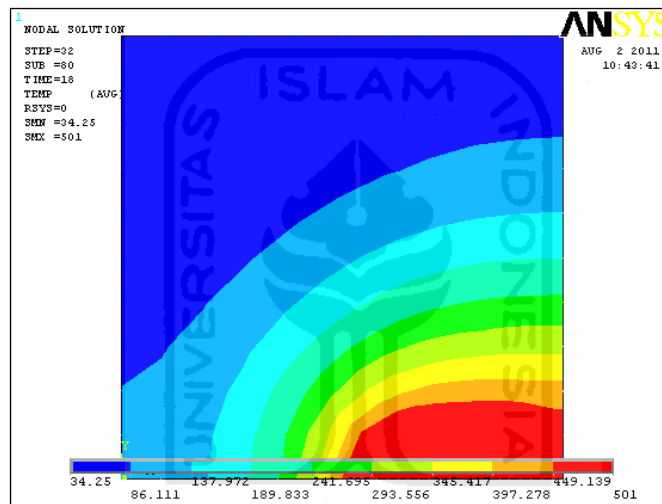


Gambar 4.20. Hasil Data Distribusi Kalor *Case 2* Dengan  $T_{max}$  702 K Saat  $T = 10$  S

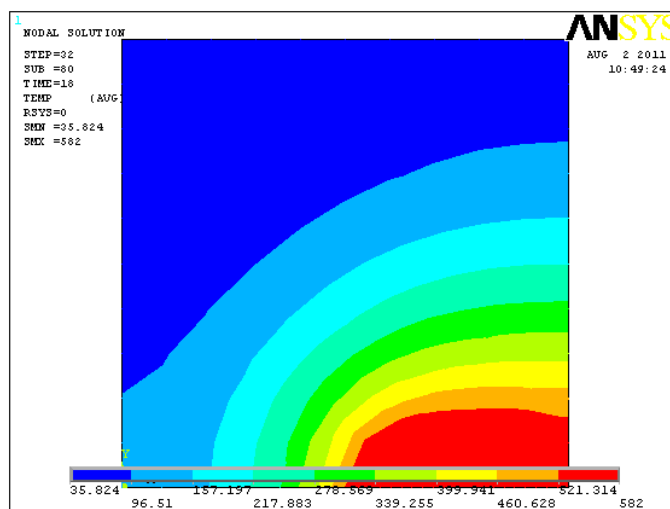




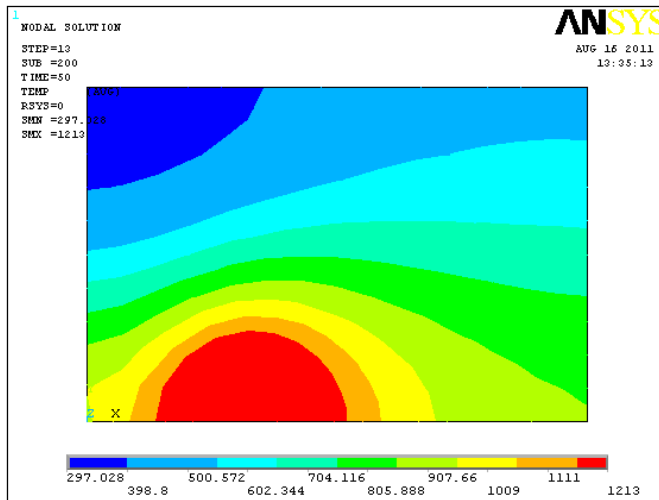
Gambar 4.21. Hasil Data Distribusi Kalor Case 3 Dengan Tmax 738 K Saat T = 10 S



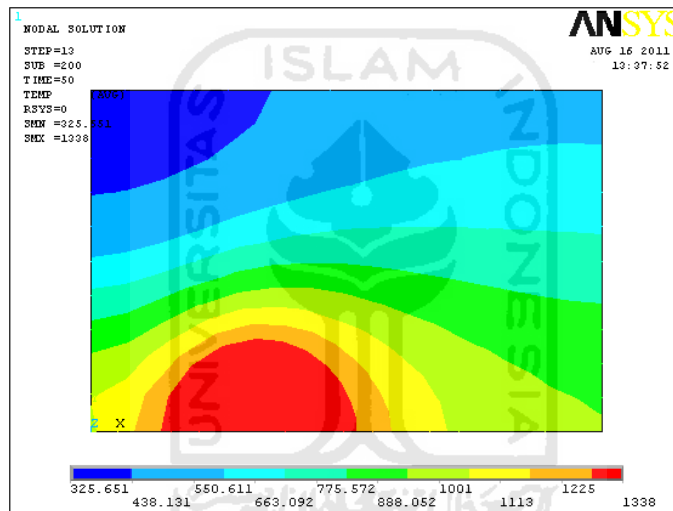
Gambar 4.22. Hasil Data Distribusi Kalor Case 4 Dengan Tmax 774 K Saat T = 10 S



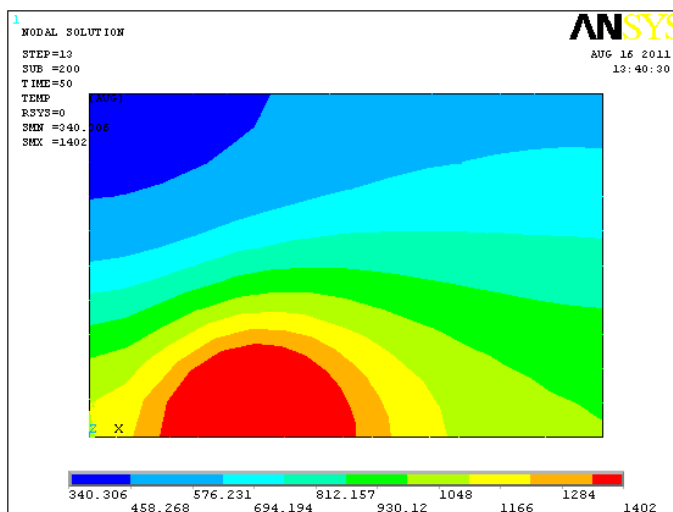
Gambar 4.23. Hasil Data Distribusi Kalor Case 5 Dengan Tmax 855 K Saat T = 10 S



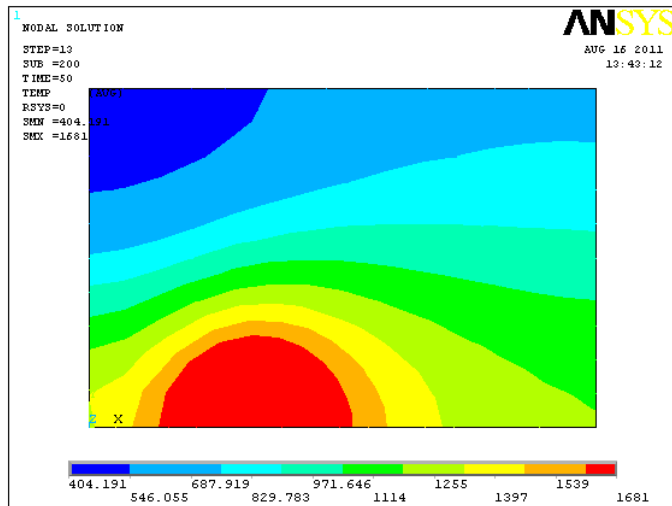
Gambar 4.24. Hasil Data Distribusi Kalor Case 6 Dengan Tmax 1219 K Saat T = 480 S



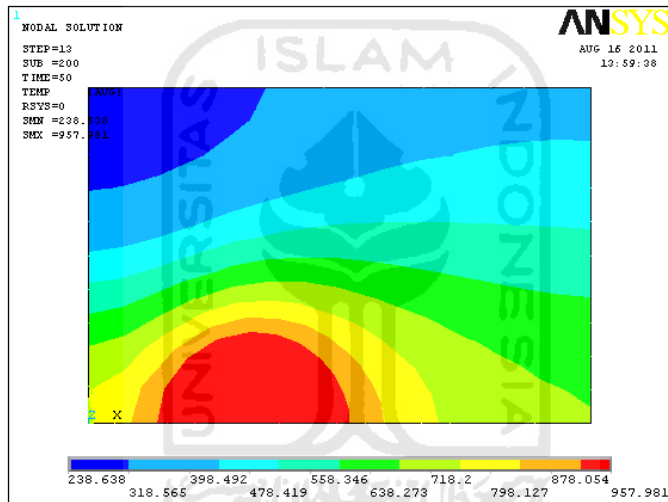
Gambar 4.25. Hasil Data Distribusi Kalor Case 7 Dengan Tmax 1338 K Saat T = 480 S



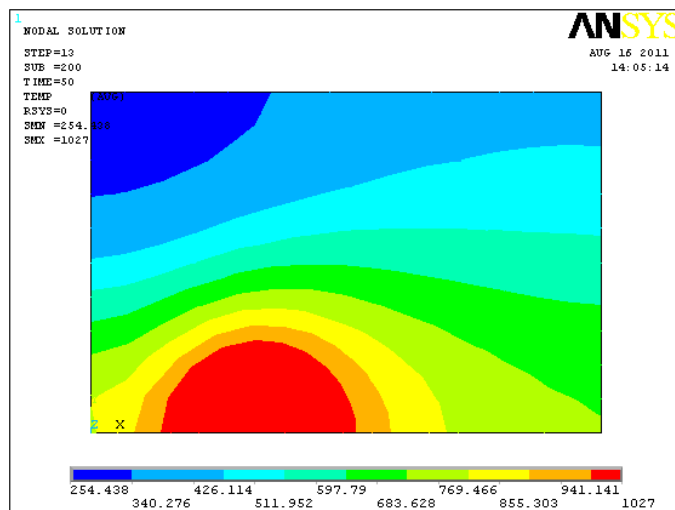
Gambar 4.26. Hasil Data Distribusi Kalor Case 8 Dengan Tmax 1402 K Saat T = 480 S



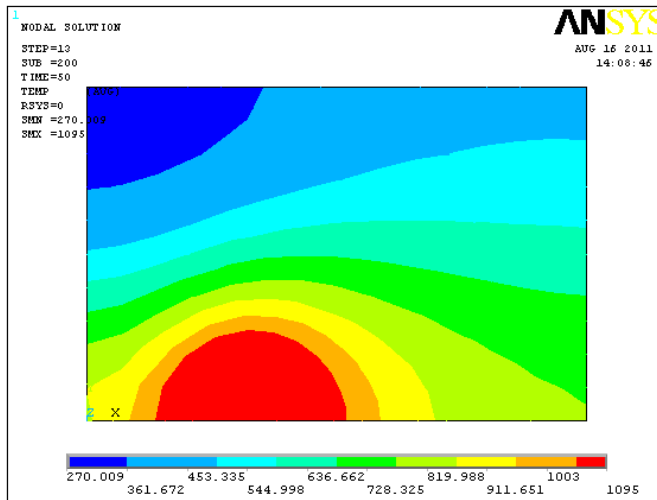
Gambar 4.27. Hasil Data Distribusi Kalor *Case 9* Dengan Tmax 1681 K Saat T = 480 S



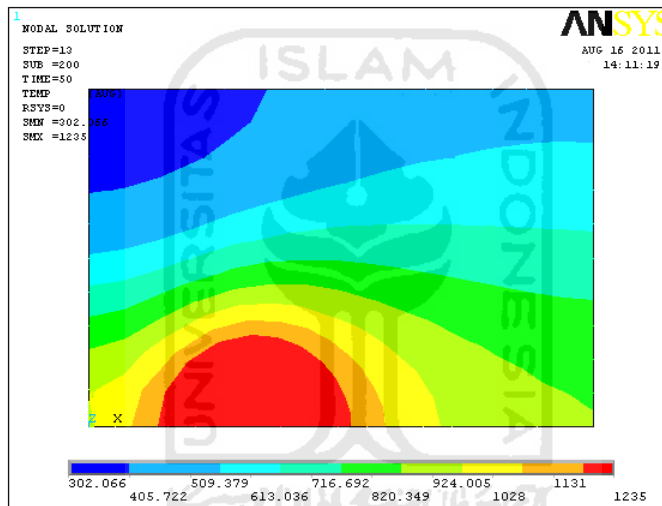
Gambar 4.28. Hasil Data Distribusi Kalor *Case 10* Dengan Tmax 958 K Saat T = 240 S



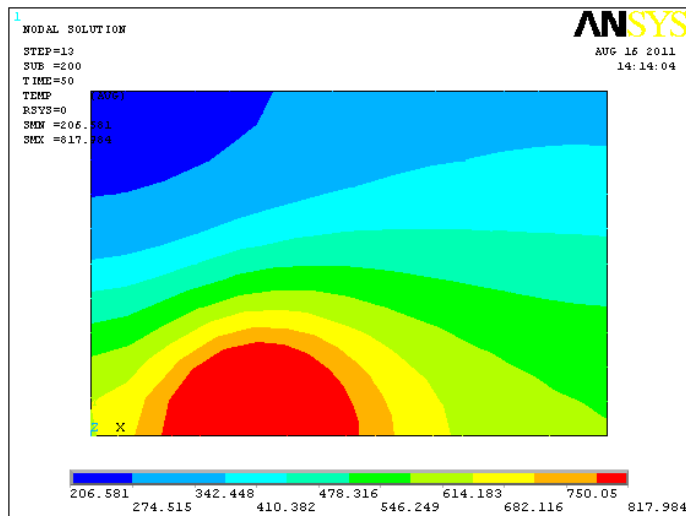
Gambar 4.29. Hasil Data Distribusi Kalor *Case 11* Dengan Tmax 1027 K Saat T = 240 S



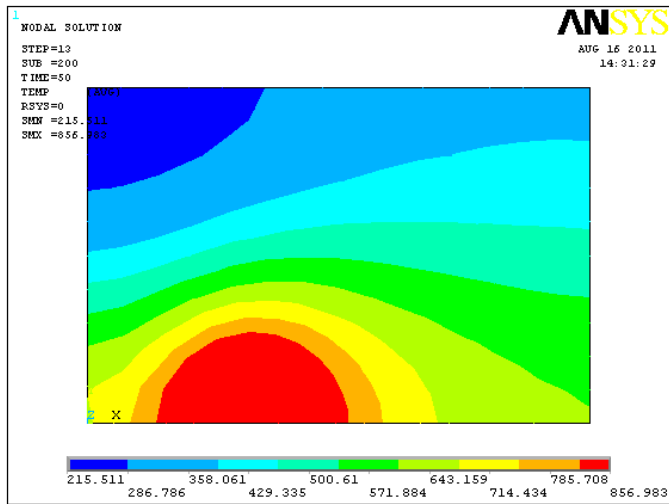
Gambar 4.30. Hasil Data Distribusi Kalor Case 12 Dengan Tmax 1095 K Saat T = 240 S



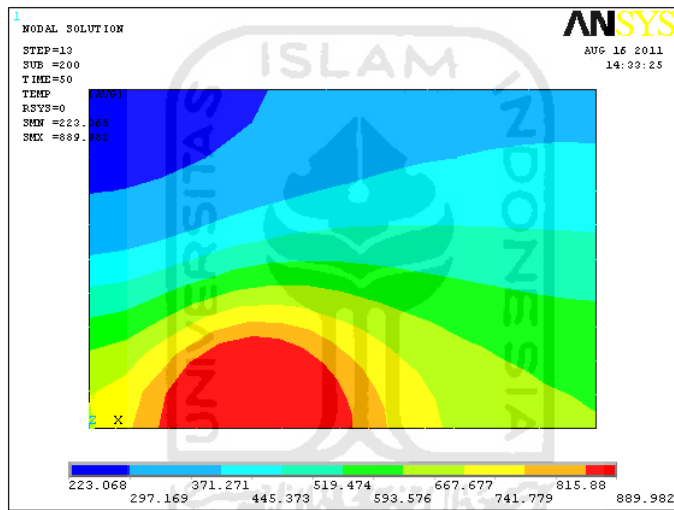
Gambar 4.31. Hasil Data Distribusi Kalor Case 13 Dengan Tmax 1235 K Saat T = 240 S



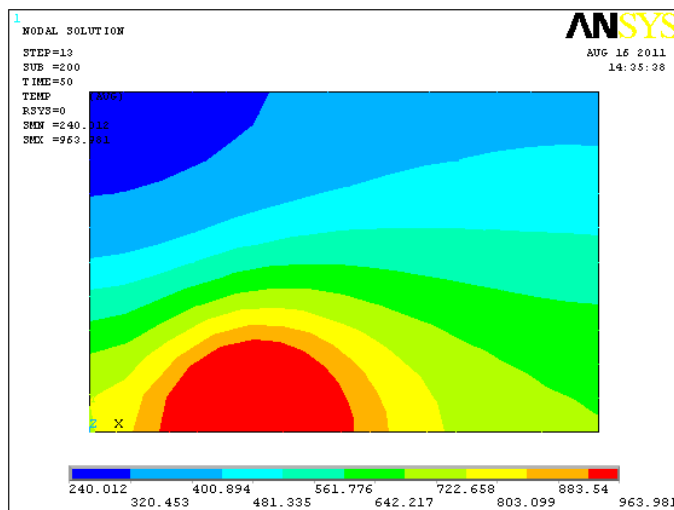
Gambar 4.32. Hasil Data Distribusi Kalor Case 14 Dengan Tmax 818 K Saat T = 120 S



Gambar 4.33. Hasil Data Distribusi Kalor Case 15 Dengan Tmax 857 K Saat T 120 S



Gambar 4.34. Hasil Data Distribusi Kalor Case 16 Dengan Tmax 890 K Saat T = 120 S



Gambar 4.35. Hasil Data Distribusi Kalor Case 17 Dengan Tmax 964 K Saat T = 120 S

Dengan meninjau gambar 4.19 sampai dengan 4.35 yang menggambarkan distribusi kalor maka dapat dijelaskan bahwa pada putaran 50 rpm temperatur maksimal yang dicapai sekitar 522 K, sehingga tidak cukup besar untuk membuat material AA 6061-T651 dapat meleleh atau mencapai 0.8 titik leburnya (684 K). Sedangkan untuk *case* 17 dimana putaran diatur pada kecepatan putar 8000 rpm dan gerak *translasi* 50 mm/menit maka didapat temperatur maksimal mencapai 964 K, sehingga dapat menjadi masalah ketika temperatur tersebut juga cukup besar untuk melelehkan daerah disekitar *tool*. Untuk dapat lebih jelas lagi dapat dilihat tabel 4.3 berikut mengenai pembagian energi hasil pada FSW berdasarkan temperatur hasilnya.

**Tabel 4.3 Klasifikasi Energi Pada Proses Mesin Las Friksi Berdasarkan Temperatur Hasilnya**

Klasifikasi	Tmax (K)	Case	Rotasi (rpm)	T (mm)	V <sub>0</sub> (mm/s)
< 0.8 Ts	522	1	50	8.13	2.4
0.8 Ts - Ts	702	2	300	8.13	2.4
	738	3	350	8.13	2.4
	774	4	450	8.13	2.4
	855	5	550	8.13	2.4
	818	14	4000	4	0.833
>Ts	857	15	5000	4	0.833
	890	16	6000	4	0.833
	958	10	4000	4	0.208
	964	17	8000	4	0.833
	1027	11	5000	4	0.208
	1095	12	6000	4	0.208
	1213	6	4000	4	0.416
	1235	13	8000	4	0.208
	1338	7	5000	4	0.416
	1681	8	6000	4	0.416
	1681	9	8000	4	0.416

Energi yang dihasilkan sangat bervariasi, dengan perubahan pada pengaturan kecepatan *translasi* dan putaran. Dari data tabel 4.3 temperatur yang dihasilkan, maka pengaturan mesin las friksi yang memiliki hasil cukup baik

adalah proses mesin las friksi yang memiliki temperatur hasil pada daerah sekitar *tool* mencapai lebih dari 80%  $T_s$ , tetapi tidak lebih dari temperatur  $T_s$  pada area diluar *heat flux*. Parameter ini didapat berdasarkan pemodelan distribusi temperatur pada Ansys 12, dimana temperatur 80%  $T_s$  cukup kuat untuk melelehkan material dan tidak juga terlalu besar untuk dapat melelehkan area diluar *tool/pin* pada material.

Untuk kesemua analisis yang didapat melalui data hasil berupa termal yang terjadi pada mesin las friksi, maka dapat disimpulkan menjadi tiga hal yakni pertama energi yang dihasilkan mesin las friksi berbanding lurus dengan kecepatan putar, sehingga semakin besar kecepatan putar maka semakin besar energi yang dihasilkan untuk menaikkan temperatur. Kedua untuk pengaturan kecepatan *translasi* berbanding terbalik dengan energi yang dihasilkan, sehingga semakin cepat kecepatan *translasinya* maka semakin kecil energi yang didapat untuk menaikkan temperatur pada suatu area material. Sedangkan untuk pengaturan tekanan pada dasarnya tidak ada perubahan pada pengaturan dari masing-masing *case*, namun bila dilihat kembali rumus pada referensi 2.5 dan 2.6 pada bab 2 maka rumus tersebut sejalan dengan data hasil yang didapat pada metode Ansys 12 sebelumnya. Sehingga kesimpulan ketiga yang didapat pula berdasarkan rumus 2.4 bahwa tekanan berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan, semakin besar tekanan maka semakin besar energi yang dihasilkan untuk menaikkan temperatur pada material.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini maka didapat kesimpulan-kesimpulan, diantaranya adalah :

1. Pemodelan termal pada pengelasan mesin las friksi dapat dimodelkan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga yang terkemas didalam Ansys 12.
2. Proses mesin las friksi yang memiliki hasil cukup baik adalah pengelasan dengan pengaturan yang memiliki temperatur hasil lebih dari 80%  $T_s$  tetapi tidak lebih dari  $T_s$  pada area *heat flux*. Parameter ini didapat berdasarkan pemodelan distribusi temperaturnya pada Ansys 12, dimana temperatur cukup kuat untuk melelehkan material namun tidak sampai melelehkan area disekitar *tool/pin* pada material. Bahkan energi yang terlalu besar dapat pula membuat material meleleh dan menetes, terutama pada material yang memiliki ketebalan yang tipis.
3. Parameter pengelasan untuk mendapatkan hasil terbaik berdasarkan pemodelan dan analisis Ansys 12 pada pengelasan aluminium AA6061-T651 dengan ketebalan 8,13 mm adalah proses pengelasan dengan menggunakan kecepatan translasi 2.4 mm/s, tekanan 22 kN dan mempunyai kecepatan putar dari 300-550 rpm.
4. Parameter pengelasan untuk mendapatkan hasil terbaik berdasarkan pemodelan dan analisis Ansys 12 pada pengelasan aluminium AA6061-T651 dengan ketebalan 4 mm adalah proses pengelasan dengan menggunakan kecepatan translasi 50 mm/menit, tekanan 4 kN dan mempunyai kecepatan putar 4000 rpm



## 5. 2. Saran

Pemodelan mesin las friksi ini masih jauh dari nilai sempurna. Pengembangan pada tahap berikutnya sangat diharapkan untuk mampu menutupi kekurangan sehingga pemodelan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga menjadi lebih baik. Saran-saran berikut diberikan untuk pengembangan penelitian berikutnya:

1. Menggunakan komputer yang memiliki spesifikasi *hardware* tinggi yang biasa digunakan untuk animasi dan desain, terutama pada *hard disk* harus memiliki kapasitas yang besar karena *file* analisis pada penelitian termal 2 dimensi Ansys 12 mencapai lebih dari 2 *gigabyte*.
2. Perbaikan dilakukan dengan mempelajari cara memodelkan pada perangkat lunak lain seperti *AutoCAD* dan *AutoDesk Inventor*, kemudian dilanjutkan dengan analisisnya pada Ansys 12, karena Ansys 12 sangat terbatas dalam melakukan pemodelan berupa gambar/desain.



## DAFTAR PUSTAKA

- Banna, Kurniawan, Al., “Jurnal Gaya Gesek”, [http://thedreamcomestruemultiply.com/journal/item/17/gaya\\_gesek](http://thedreamcomestruemultiply.com/journal/item/17/gaya_gesek), 2010 (Diakses tanggal 27 Mei 2009)
- Bejan, Adrian, and Kraus, Alan, D., “*Heat Transfer*”. John Wiley & Sons, Inc, United States of America, 2003.
- Cengel, Yunus, A., “*Heat Transfer a Practical Approach, 2nd Edition*”. Singapore, 2003.
- Chao, Yuh, J., Qi, X., and Tang, W., “*Heat Transfer In Friction Stir Welding- Experimental And Numerical Studies*”. ASME, 2003.
- Dawes, C.J., “*Friction Stir Welding*”. The Welding Institute, 1999.
- Nakasone, J., Stolarski, T.A., and Yoshimoto, S., “*Engineering Analysis With ANSYS Software*” Tokyo, September 2006.
- Samir, A., Emam, and Ali, El., Domiaty, “*A Refined Energy-Based Model For Friction-Stir Welding*” World Academy Of Science, Engineering And Technology, 2009.
- Sonawan H., Suratman R., “*Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*”, Penerbit Alfabeta, Bandung, 2003.
- Surdia, T., dan Saito, S., “*Pengetahuan Bahan Teknik*”, Cetakan ke-. 4, PT.Pradnya Paramita, Jakarta 1999.
- Wirjosumarto, Harsono, Dan Okumura, Toshie., “*Teknologi Pengelasan Logam*”, PT.Pradnya Paramita, Jakarta, 2004.