

TUGAS SARJANA
KONVERSI ENERGI
ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA RICE
COOKER (HEATING PLATE DENGAN INNER
COOKING PAN) MENGGUNAKAN SOFTWARE
SOLIDWORKS

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh :

NAMA : ARDIANSYAH HARAHAP

NPM : 1307230220



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017

LEMBAR PENGESAHAN - I

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA RICE
COOKER (HEATING PLATE DENGAN INNER
COOKING PAN) MENGGUNAKAN SOFTWARE
SOLIDWORKS**

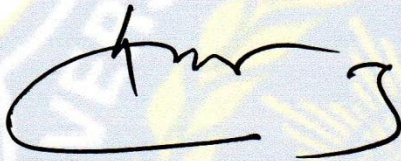
Disusun Oleh :

ARDIANSYAH HARAHAP

1307230220

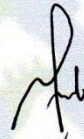
Disetujui Oleh :

Pembimbing – I



(Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T.)

Pembimbing – II



(H. Muharnif M,S.T.,M.Sc)

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin

(Affandi, S.T.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

LEMBAR PENGESAHAN - II

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA RICE
COOKER (HEATING PLATE DENGAN INNER
COOKING PAN) MENGGUNAKAN SOFTWARE
SOLIDWORKS**

Disusun Oleh :

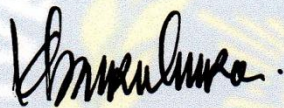
ARDIANSYAH HARAHAP

1307230220

Telah diperiksa dan diperbaiki
Pada seminar tanggal 25 September 2017.


Disetujui Oleh :

Pembanding – I



(Khairul Umurani, S.T.,M.T.)

Pembanding – II



(Sudirman Lubis, S.T.,M.T)

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin

(Affandi, S.T.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**



Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

DAFTAR SPESIFIKASI

TUGAS SARJANA

Nama : Ardiansyah Harahap
NPM : 1307230220
Semester : VIII (Delapan)
SPESIFIKASI :

**“ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA *RICE COOKER (HEATING PLATE*
DENGAN INNER COOKING PAN) MENGGUNAKAN *SOFTWARE SOLIDWORKS*”**

Diberikan Tanggal : 10 April 2017
Selesai Tanggal : 15 September 2017
Asistensi : ± 1 x Seminggu
Tempat Asistensi : Dirumah Bpk. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Diketahui oleh :
Ka. Program Studi Teknik Mesin

Medan, 26 April 2017
Dosen Pembimbing – I

(Affandi, S.T)

(Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

NAMA : Ardiansyah Harahap

PEMBIMBING – I : Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T.

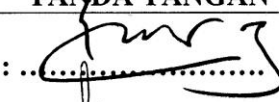
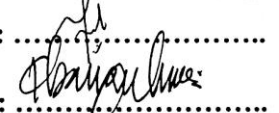

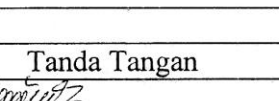
NPM : 1307230220

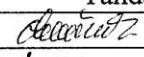


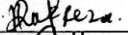
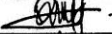
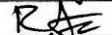

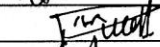

PEMBIMBING – II : H. Muharnif M, S.T.,M.Sc

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Senin 17/7-17	Tuliskan BAB I s/d BAB III Esai judul .	A
2.	Selasa 25/7-17	Perbaiki lembar balokan, Tupia, barisan dan rumus masalah.	A
3.	Selasa 8/8-17	Lanjutkan ke Pemb. II	A
4.	Senin 21/8-17	Perhitungan flux / temperatur 2D	A
5.	Senin 28/8-17	Perhitungan numerik (Matrik)	A
6.	Senin 4/9-17	Perhitungan heat flux 1D	A
7.	Senin 11/9-17	Lanjut ke pembimbing I	A
8.	Jumat 15/9-17	Ace di Seminar kan	A

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2017 – 2018**

Peserta Seminar
 Nama : Ardiansyah Harahap
 NPM : 1307220220
 Judul Tugas Akhir : Analisa perpindahan Panas Pada Rice Cooker (Heating Plate Dengan Inner Cooking PAN) Menggunakan Soft – Ware Solidworks.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 
Pembanding – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembanding – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1207230176	DITANY FAJAH LESMANIA	
2	1307230121	M. TAVFIH	
3	1307230043	AHMAD PAUZAN LUBIS	
4	1307230225	REZA LEVI SANEDI	
5	1307230273	Hidayat Tri SUGIO	
6	1207230247	BAGUS ANONKA	
7	1207230244	ABDI RATHMADI	
8	1207230025	RIZKI AFRIZAL PRATAMA	
9	1307230047	Abdul Rahman Alzulani	
10			

Medan, 04 Muharram 1439 H
25 September 2017 M

Ketua Prodi. T Mesin


Affandi.S.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Ardiansyah Harahap
NPM : 1307230220
Judul T.Akhir : Analisa Perpindahan Panas Pada Rice Cooker (Heating Plate-
Dengan Inner Cooking PAN) Menggunakan Software Solid -
Works.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :


Format tulisan, perhitungannya excel/ manual

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 04 Muharram 1439H
25 September 017 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin


Affandi.S.T

Dosen Pembanding- I

Khairul Umurani.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Ardiansyah Harahap
NPM : 1307230220
Judul T.Akhir : Analisa Perpindahan Panas Pada Rice Cooker (Heating Plate-
Dengan Inner Cooking PAN) Menggunakan Software Solid -
Works.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :


.....
.....
.....
.....

Medan 04 Muharram 1439H
25 September 017 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin


Affandi.S.T

Dosen Pembanding- II


Sudirman Lubis.S.T.M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Ardiansyah Harahap
Tempat/Tgl Lahir : Padangsidempuan, 24 Juni 1994
Npm : 1307230220
Bidang Keahlian : Konversi Energi
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(UMSU)

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Sarjana saya ini yang berjudul:

“ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA *RICE COOKER (HEATING PLATE DENGAN INNER COOKING PAN)* MENGGUNAKAN *SOFTWARE SOLIDWORKS*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Sarjana saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 22 April 2017

Saya yang menyatakan,



Ardiansyah Harahap

ABSTRAK

Saat ini banyak alat-alat yang kita gunakan untuk memasak menggunakan perpindahan panas seperti rice cooker. Untuk itu kita harus mengetahui bagaimana perpindahan panas itu terjadi dan seberapa besar perpindahan panas tersebut, yaitu salah satunya dengan melakukan simulasi pada solidworks. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perpindahan panas heat flux yang terjadi pada inner cooking pan dari heating plate dengan menghitung dan menggunakan software solidworks. Simulasi pada variasi temperatur 100°C distribusi temperatur antara $95,531^{\circ}\text{C}$ s/d $96,357^{\circ}\text{C}$, dan hasil perhitungan antara $95,0915^{\circ}\text{C}$ s/d $96,9642^{\circ}\text{C}$, serta heat flux sebesar $361,4311\text{ W/m}$. Variasi 110°C distribusi simulasi $105,105^{\circ}\text{C}$ s/d $105,981^{\circ}\text{C}$ dan hasil perhitungan antara $104,092^{\circ}\text{C}$ s/d $105,964^{\circ}\text{C}$, serta heat flux sebesar $361,296\text{ W/m}$. Dan variasi 120°C distribusi simulasi $114,255^{\circ}\text{C}$ s/d $115,299^{\circ}\text{C}$ dan hasil perhitungan antara $114,092^{\circ}\text{C}$ s/d $115,964^{\circ}\text{C}$, serta heat flux sebesar $361,296\text{ W/m}$. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan perhitungan metode numerik dapat disimpulkan sangatlah mendekati dengan hasil dari simulasi, kemudian temperatur yang bagus untuk menanak nasi ialah pada variasi temperatur 120°C di karenakan pada variasi ini bagian inner cooking pan pertengahan sudah mendapatkan temperatur diatas 100°C , dimana temperatur tersebut sudah membuat air mendidih sehingga nasi matang lebih cepat.

Kata Kunci : solidworks, heat flux, inner cooking pan, heating plate.

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan baik. Tugas Sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya, untuk memenuhi syarat tersebut penulis dengan bimbingan dari para Dosen Pembimbing merencanakan sebuah **“Analisa Perpindahan Panas Pada Rice Cooker (Heating Plate Dengan Inner Cooking Pan) Menggunakan Software Solidworks”**.

Shalawat serta salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat muslim dari alam kegelapan menuju alam yang terang menderang. Semoga kita mendapat syafa'atnya di yaumul akhir kelak amin yarabbal alamin.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan baik dalam kemampuan pengetahuan dan penggunaan bahasa. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Dalam penulisan Tugas Sarjana ini, penulis banyak mendapat bimbingan, masukan, pengarahan dari Dosen Pembimbing serta bantuan moril maupun material dari berbagai pihak sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda M. Sofyan Harahap dan Ibunda Masdewar Siregar yang telah banyak memberikan kasih sayang, nasehatnya, doanya, serta pengorbanan yang tidak dapat ternilai dengan apapun itu kepada penulis selaku anak yang di cintai dalam melakukan penulisan Tugas Sarjanaini.
2. Bapak Rahmatullah, S.T., M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Tugas Sarjana ini dan Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak H. Muharhif M, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II Tugas Sarjana ini.
5. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Tugas Sarjana ini dan Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pembanding II Tugas Sarjana ini.
7. Bapak Affandi, S.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Chandra A Srg, S.T., M.T selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.
10. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin khususnya kelas A2 Siang.
11. Para sahabat tercinta Rosdeliati Siregar S.Pd, Konita Istiqomah Harahap, S.Pd dan keluarga dirumah yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin ya rabbal alamin.
Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 25 September 2017
Peneliti

ARDIANSYAH HARAHAP
1307230220

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN I	
LEMBAR PENGESAHAN II	
LEMBAR SPESIFIKASI TUGAS SARJANA	
LEMBAR ASISTENSI TUGAS SARJANA	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Rice Cooker	6
2.1.1. Sejarah Rice Cooker	6
2.2. Jenis – jenis Rice Cooker	7
2.3. Konstruksi Rice Cooker	9
2.4. Perpindahan Panas	12
2.4.1. Perpindahan Panas Konduksi	17
2.4.2. Perpindahan Panas Konveksi	13
2.4.3. Metode Analisa Numerik	15
2.5. Aluminium	17
2.6. Solidworks	20
2.6.1. Sejarah Solidworks	20
2.6.2. Fungsi-fungsi Solidworks	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Tempat Dan Waktu	25
3.1.1. Tempat	25
3.1.2. Waktu	25
3.2. Alat Penelitian	25
3.3. Tahap Pelaksanaan	26
3.4. Spesifikasi Rice Coker	27
3.5. Diagram Alir	30
3.6. Prosedur Penelitian	31
3.7. Mendesain Heating Plate dan Inner Cooking Pan untuk Rice Cooker Dengan Menggunakan Software Solidworks	31
3.7.1. Pre prosesor	31
3.7.2. Desain Inner Cooking Pan	44
3.8. Melakukan Proses Assembly	51
3.9. Proses Silmulasi	51

3.9.1. Memilih Material dan Memasukkan Data	54
3.9.2. Simulasi	57
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1. Hasil Simulasi	59
4.2. Pembahasan	62
4.2.1. Perhitungan Distribusi Temperatur Dengan Menggunakan Rumus Metode Analisa Numerik	62
4.2.2. Perhitungan <i>Heat flux</i> Menggunakan Rumus Konduksi Keadaan Tunak Dua Dimensi (Rangkap)	86
BAB 5 PENUTUP	88
5.1. Kesimpulan	88
5.2. Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. <i>Rice cooker pot style</i>	8
Gambar 2.2. <i>Rice cooker cool touch</i>	9
Gambar 2.3. Konstruksi bagian- bagian poko <i>rice cooker</i>	9
Gambar 2.4. <i>Inner cooking pan</i>	10
Gambar 2.5. <i>Heating plate</i>	11
Gambar.2.6. Perpindahan panas konduksi dari temperatur panas ke temperatur dingin	12
Gambar 2.7. Perpindahan panas konveksi dari suatu plat	14
Gambar 2.8. Bagan yang menunjukkan nomenklatur yang digunakan dalam analisa numerik kondisi kalor dua-dimensi	15
Gambar 2.9. Nomenklatur untuk persamaan node dengan kondisi batas konveksi	16
Gambar 2.10. Nomenklatur untuk persamaan node dengan konveksi pada bagian sudut.	17
Gambar 2.11. Tampilan <i>software solidworks</i>	24
Gambar 3.1 Miyako MCM528 <i>Rice Cooker</i> 1,8 Liter	27
Gambar 3.2 Sketsa bagian dalam <i>Rice Cooker</i>	27
Gambar 3.3. <i>inner cooking pan</i>	28
Gambar 3.4. Heating Plate for Electric Rice Cooker	29
Gambar 3.5 Memilih menu part baru	32
Gambar 3.6. Sisi mulai gambar untuk mendesain <i>heating plate</i>	32
Gambar 3.7. Sketsa lingkaran bagian diameter dalam dan luar untuk <i>heating plate</i>	33
Gambar 3.8. Membuat bentuk 3D <i>Heating plate</i>	34
Gambar 3.9. Sketsa lingkaran d_1 dan d_2 bagian bawah <i>heating plate</i>	35
Gambar 3.10. Sketsa 3D lingkaran d_1 dan d_2 bagian bawah <i>heating plate</i>	35
Gambar 3.11. Sketsa lingkaran d_3 dan d_4 bagian bawah <i>heating plate</i>	36
Gambar 3.12. Sketsa 3D lingkaran d_3 dan d_4 bagian bawah <i>heating plate</i>	36
Gambar 3.13. Sketsa pin tambahan pada bagian bawah <i>heating plate</i>	37
Gambar 3.14. Sketsa 3D pin tambahan bagian bawah <i>heating plate</i>	38
Gambar 3.15. Sketsa 3D tiga pin tambahan bagian bawah <i>heating plate</i>	38
Gambar 3.16. Sketsa pin penyangga pada <i>heating plate</i>	39
Gambar 3.17. Sketsa 3D dua buah pin penyangga pada <i>heating plate</i>	40
Gambar 3.18. Sketsa dua pin tambahan pada bagian lingkaran d_4	41
Gambar 3.19. Sketsa 3D dua pin tambahan pada bagian lingkaran d_4	41
Gambar 3.20. Sketsa dua buah pin terminal arus listrik diantara d_1 dan d_2	42
Gambar 3.21. Sketsa 3D dua buah pin terminal arus listrik diantara d_1 dan d_2	42
Gambar 3.22. fillet untuk semua pin dan lingkaran d_3 dan d_4 pada heating plate	43
Gambar 3.23. fillet untuk lingkaran d_1 dan d_2 pada heating plate	43
Gambar 3.24. Gambar tampilan sisi atas yang sudah di fillet	44
Gambar 3.25. Sketsa sisi mulai gambar <i>inner cooking pan</i>	45
Gambar 3.26. Sketsa gambar <i>inner cooking pan</i>	45
Gambar 3.27. Mendesain 3D untuk <i>inner cooking pan</i>	46
Gambar 3.28. Medesain ruang pada <i>inner cooking pan</i> dengan <i>Shell</i>	46
Gambar 3.29. Mendesain lingkaran bagian atas <i>inner cooking pan</i>	47
Gambar 3.30. Sketsa 3D untuk ruang <i>inner cooking pan</i>	48
Gambar 3.31. Sketsa 3D <i>Extruded cut</i> pada <i>inner cooking pan</i>	48

Gambar 3.32. Sketsa 3D desain fillet bagian bawah <i>inner cooking pan</i>	49
Gambar 3.33. Sketsa 3D desain fillet bagian atas <i>inner cooking pan</i>	49
Gambar 3.34. Sketsa 3D desain fillet bagian atas <i>inner cooking pan</i>	50
Gambar 3.35. Sketsa 3D utuh dari <i>inner cooking pan</i>	50
Gambar 3.36. Menu awal proses <i>solidworks assembly</i>	51
Gambar 3.37. Memasukan komponen- komponen gambar	52
Gambar 3.38. Penggabungan komponen melalui <i>solidworks assembly</i>	52
Gambar 3.39. Penggabungan komponen dari sisi pandangan bawah	53
Gambar 3.40. Langkah awal dalam proses simulasi	54
Gambar 3.41. Menentukan material pada komponen	55
Gambar 3.42. Proses memasukan suhu pada material	56
Gambar 3.43. Proses memasukkan data koefisien perpindahan panas konveksi	56
Gambar 3.44. Proses memasukan data <i>heat power</i> pada <i>heating plate</i>	57
Gambar 3.45. Hasil <i>mesh</i> pada <i>heating plate</i> dan <i>inner cooking pan</i>	57
Gambar 3.46. Hasil simulasi pada <i>heating plate</i> dan <i>inner cooking pan</i>	58
Gambar 4.1. Distribusi temperatur pada suhu 100°C	59
Gambar 4.2. <i>Heat flux</i> yang didapat dari temperatur 100 °C	60
Gambar 4.3. Distribusi temperatur pada suhu 110°C	60
Gambar 4.4. <i>Heat flux</i> yang didapat dari temperatur 110 °C	61
Gambar 4.5. Distribusi temperatur pada suhu 120°C	61
Gambar 4.6. <i>Heat flux</i> yang didapat dari temperatur 120 °C	62
Gambar 4.7. Penempatan nomenklatur pada variasi temperatur 100°C	63
Gambar. 4.8 Hasil dan penempatan pada tiap-tiap temperatur variasi 100°C	69
Gambar. 4.9 Hasil node- node pada simulasi <i>Solidwork</i> variasi 100°C	70
Gambar 4.10. Penempatan nomenklatur pada variasi temperatur	70
Gambar. 4.11 Hasil dan penempatan pada tiap-tiap temperatur variasi 110°C	77
Gambar. 4.12 Hasil node- node pada simulasi <i>Solidwork</i> variasi 110°C	78
Gambar 4.13. Penempatan nomenklatur pada variasi temperatur 120°C	78
Gambar. 4.14. Hasil dan penempatan pada tiap - tiap temperatur	85
Gambar. 4.15 Hasil node- node pada simulasi <i>Solidwork</i> variasi 120 °C	86

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Konduktivitas thermal berbagai bahan pada 0° C	13
Tabel 2.2. Nilai kira – kira koefisien perpindahan panas konveksi	15
Tabel 3.1. Data input dalam proses simulasi	54
Tabel 4.1. Susunan node matriks dengan excel pada variasi temperatur 100°C	68
Tabel 4.2. Perkalian hasil invers dari matriks dengan besaran nilai persamaan pada variasi temperatur 100 °C	69
Tabel 4.3. Susunan node matriks dengan excel pada variasi temperatur 110°C	76
Tabel 4.4. Perkalian hasil invers dari matriks dengan besaran nilai persamaan pada variasi temperatur 110 °C	77
Tabel 4.5. Susunan node matriks dengan excel pada variasi temperatur 120°C	84
Tabel 4.6. Perkalian hasil invers dari matriks dengan besaran nilai persamaan pada variasi temperatur 120 °C	85

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Bi	Angka Biot	
h	Koefisien perpindahan kalor	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
k	Konduktivitas termal	$W/m \text{ } ^\circ C$
q	Laju perpindahan kalor (<i>heat flux</i>)	W/m
T_1 s/d T_{15}	Temperatur titik node	$^\circ C$
T_∞	Temperatur lingkungan	$^\circ C$
ΔT	Perbedaan antara temperature	$^\circ C$ (K)
Δx	Jarak antara titik node pada sumbu x	m (mm)
Δy	Jarak antara titik node pada sumbu y	m (mm)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dewasa ini, banyak kita mempergunakan alat-alat untuk memasak yang serba cepat dan praktis, dengan munculnya *Rice Cooker* dalam kehidupan masyarakat banyak membantu pekerjaan rumah tangga khususnya dalam menanak nasi sehingga dapat meringankan beban para ibu rumah tangga. Hal ini dikarenakan *rice cooker* sangat mempunyai banyak kelebihan untuk memasak, seperti mengukus kue, memasak sayuran dan membuat sup dan lain sebagainya. Salah satu proses yang digunakan dalam *rice cooker* adalah perpindahan panas terhadap *inner cooking pan* melalui *heating plate* dengan panas yang sesuai untuk menanak nasi.

Perpindahan panas adalah energi yang berpindah atau bergerak akibat perbedaan suhu yaitu panas yang bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Hal ini dikarenakan energi panas memiliki sifat yaitu dapat berpindah tempat. Perpindahan panas yang terjadi pada *rice cooker* adalah perpindahan panas konduksi dan konveksi. Perpindahan panas konduksi ialah proses perpindahan energi dari temperatur tinggi ketemperatur rendah melalui hantaran. Dan adapun perpindahan panas konveksi ialah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan tercampur.

Perpindahan panas pada *rice cooker* ini dapat dikategorikan jenis *heating plate* dengan *inner cooking pan* dimana panas yang terjadi karena dalam proses penanakan nasi *inner cooking pan* membutuhkan panas yang sesuai untuk mematangkan nasi di dalam *pan*. Metode analisa perpindahan panas jenis ini dapat menggunakan *software* seperti *solidworks*, untuk simulasi sehingga lebih memudahkan dalam mendesain dan melihat distribusi temperaturnya.

Sebagai penjelasan lebih lanjut, bahwa *software solidworks* adalah salah satu CAD software yang dibuat oleh DASSAULT SYSTEMES dimana software ini digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part nya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan. *Solidwork* merupakan *software* yang digunakan untuk membuat desain produk dari yang sederhana sampai yang kompleks seperti roda gigi, casing handphone, mesin mobil, dsb. software ini merupakan salah satu opsi diantara design software lainnya sebut saja catia, inventor, Autocad, dan lain sebagainya.

1.2 Rumusan masalah

Pada analisa ini akan membahas tentang bagaimana distribusi perpindahan panas *heating plate* terhadap ruang *inner cooking pan* dengan menghitung dan menggunakan metode simulasi.

1.3 Batasan masalah

Agar permasalahan dalam penelitian ini lebih terarah, maka perlu adanya pembatasan masalah, penulis hanya membatasi masalah mengenai :

- Mendesain komponen – komponen baik itu *heating plate* dan ruang *inner cooking pan* dengan menggunakan *software solidworks*.
- Analisa yang dilakukan pada saat *cooking* dengan cara memvariasikan temperatur dari 100⁰C, 110⁰C dan 120⁰C panas *heating plate* dan mensimulasikan menggunakan *software solidworks*.
- Menghitung distribusi *heat flux* pada *inner cooking pan*.
- Tidak melibatkan faktor suhu air pada simulasi dan perhitungan.

1.4 Tujuan

1.4.1 Tujuan Umum

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi pada *inner cooking pan* dari *heating plate* dengan menghitung dan menggunakan *software solidworks*.

1.4.2 Tujuan khusus

- Untuk mengetahui distribusi panas melalui laju aliran panas (*heat flux*) pada ruang *inner cooking pan*.
- Untuk mendapatkan jumlah panas yang mengalir pada *inner cooking pan* melalui *heating plate*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dalam analisa ini adalah :

- a. Mengetahui profil perpindahan panas dan *heat flux* pada *inner cooking pan*.
- b. Dapat memberikan informasi dan masukan kepada pembaca tentang cara simulasi perpindahan panas menggunakan *software solidworks*.
- c. Sebagai perbandingan antara teori yang diperoleh dari bangku perkuliahan dengan hasil simulasi menggunakan *software solidworks*.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar memudahkan pemahaman terhadap penulisan tugas akhir ini, maka diberikan gambaran mengenai penulisan tugas akhir ini sesuai bab-bab yang ditulis sebagai berikut :

- a. Bagian awal

Bagian awal terdiri dari halaman judul, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar tabel.

- b. Bagian isi skripsi

Bagian ini terdiri dari 5 bab, yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini akan membahas tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini diuraikan teori-teori sebagai dasar untuk pemecahan masalah yaitu berisikan teori-teori yang akan dibahas, yang didapat dari referensi yang ada agar dapat menunjang dalam pemecahan masalah yang akan terjadi.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas tentang mendesain dua komponen utama pada *rice cooker (heating plate & inner cooking pan)* serta mensimulasikan menggunakan *software solidworks*.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang besaran – besaran yang didapatkan dari proses simulasi dan menganalisa hasil pengujian.

BAB 5 PENUTUP

Bagian dari Tugas Akhir yang merupakan kesimpulan dari keseluruhan hasil, baik itu perhitungan, perancangan dan analisa.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rice Cooker

Rice cooker adalah salah satu alat rumah tangga yang mengkonversikan energi listrik menjadi energi panas untuk memanaskan *inner cookingpan* dari *heating plate* agar menghasilkan panas yang sesuai untuk menanak nasi. Meskipun tujuan utama alat ini adalah memasak nasi, tetapi dapat juga difungsikan untuk merebus sayuran, mengukus kue dan lain sebagainya.

2.1.1 Sejarah Rice Cooker

Rice cooker pertama kali ditemukan oleh Yoshitada Minami. Pada tahun 1937, tentara jepang mulai menjalankan prinsip kerja perangkat penanak nasi bertenaga listrik tersebut. Awalnya *rice cooker* yang digunakan terdiri dari wadah kayu tahan bocor dan lempengan logam bertenaga listrik. Lempengan logam tersebut berfungsi memanaskan wadah kayu yang sudah terisi beras dan air didalamnya. Wadah kayu yang terus dipanaskan dengan logam pemanas, kemudian menjadikan beras didalamnya masak. Saat itu, proses untuk mengubah beras menjadi nasi masih sangat lama karena wadah kayu yang digunakan belum dilengkapi penutup. Akibatnya, uap panas yang dihasilkan dari air mendidih di dalam wadah terbang percuma ke udara bebas.

Untuk mempercepat waktu pemasakan beras menjadi nasi, perangkat ini dilengkapi dengan penutup, sehingga uap panas yang terbang percuma bisa dimaksimalkan fungsinya di dalam wadah untuk menjadikan beras lebih cepat masak jadi nasi. Hasil dari penyempurnaan ini kemudian memunculkan ide bagi

produsen Mitsubishi untuk memproduksinya secara massal. Pada tahun 1945, perusahaan tersebut untuk pertama kalinya memproduksi dan memperdagangkan *rice cooker*.

Jika tentara Jepang membuat *rice cooker* dengan wadah kayu, Mitsubishi melengkapi perabotan ini dengan wadah aluminium. Dengan demikian, hantaran panas di dalam wadah bekerja lebih maksimal. Dampaknya, nasi di dalam wadah menjadi cepat sekali masak. Ditambah lagi, uap air yang terjebak di dalamnya akibat tertutup rapat, ikut menghasilkan panas yang mempercepat proses menanak nasi. Inovasi ini ternyata belum menjadi titik akhir bagi *rice cooker*.

Pada tahun 1956, Toshiba menyempurnakan perabot ini secara signifikan. Saat itu, Toshiba membuat produk *rice cooker* yang secara otomatis berhenti bekerja begitu nasi yang dalamnya sudah masak. Inovasi ini menjadikan *rice cooker* bekerja lebih aman dibanding sebelumnya. Toshiba meraih sukses besar dengan inovasinya. Dalam satu bulan, rata-rata 200 ribu *rice cooker* terserap pasar dalam negeri. Empat tahun setelah produk Toshiba ini diluncurkan, sekitar 50 persen warga Jepang melengkapi dapurnya dengan *rice cooker*.

Seiring perkembangan waktu, alat ini kemudian menembus pasar dunia dan dilengkapi fungsinya. Alat yang semula hanya bisa memasak nasi, kemudian dilengkapi dengan fungsi menghangatkan nasi, juga menghangatkan sayur-mayur. Namun demikian, sumber tenaga yang digunakannya tetap listrik.

2.2 Jenis – jenis *Rice Cooker*

Berdasarkan kegunaan serta fungsinya masing – masing dan sesuai kapasitasnya *rice cooker* dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. *Rice cooker pot style*

Rice cooker ini biasanya mudah digunakan dan dioperasikan. Jenis ini memiliki kapasitas ukuran yaitu dari 3 – 30 gelas beras, pan bagian dalamnya dapat dilepas gunanya untuk mempermudah membersihkannya dari terak sisa nasi yang menempel. *Rice cooker* jenis ini dapat memasak secara otomatis dan berhenti ketika nasi matang, seperti gambar 2.1 yang di perlihatkan dibawah ini.



Gambar 2.1. *Rice cooker pot style*

2. *Rice cooker cool touch*

cool touch adalah jenis *rice cooker* yang memiliki tutup berengsel sehingga bisa menjaga uap air dan kelembapan nasi didalam pan. Jenis ini memiliki kapasitas ukuran yaitu dari 4 – 10 gelas beras. Metode memasaknya sama seperti jenis *pot style* , kecuali pan bagian dalam yang tidak dapat dilepas tetapi akan tetap dingin jika dipegang selama proses memasak. Adapun contohnya seperti pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. *Rice cooker cool touch*

2.3 **Konstruksi***Rice Cooker*

Secara umum konstruksi *rice cooker* terdiri dari beberapa unit pokok penting, yaitu yang merujuk pada gambar 2.3 dibawah berikut ini :



Gambar 2.3. Konstruksi bagian- bagian pokok *rice cooker*

1. Pan bagian dalam(*inner cooking pan*)

Untuk menempatkan beras yang akan ditanak atau dimasak, terbuat dari logam aluminium yang dilapisi bahan anti lengket yang disebut dengan teflon, seperti pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4. *Inner cooking pan*

2. Elemen pemanas(*heating plate*)

Pada *rice cooker* tertentu pemanas ini dililitkan pada bagian samping pan bagian dalam. Untuk jenis seperti ini, apabila elemen rusak dapat diperbaiki. Namun pada kebanyakan *rice cooker* yang diperdagangkan sekarang elemen pemanasnya ditempatkan dalam bagian yang solid atau permanen dan sukar untuk diperbaiki, seperti pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5. *Heating plate*

3. Rumah bagian luar (*out case*)

Sebagai pelindung dari pan bagian dalam dan elemen. Pada bagian ini biasanya terdapat saklar dan terminal untuk kabel tenaga.

Saklar umumnya mempunyai 2 kedudukan yaitu kedudukan *cooking* dan *warm*.

4. Kabel tenaga

Kabel ini biasanya terdiri dari tusuk kontak untuk ke sumber listrik dan kontra steker untuk keterminal pada peralatan. Bila peralatan tidak dipakai, kabel dapat dilepas dan disimpan terpisah.

5. Tutup

Kebanyakan rice cooker mempunyai dua buah tutup yaitu satu tutup untuk pan bagian dalam dan satu lagi tutup bagian atas yang dilengkapi dengan klem.

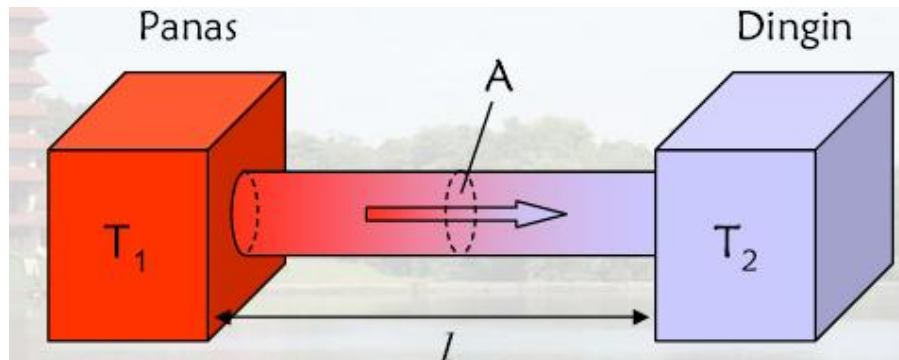
2.4. Perpindahan Panas

Perpindahan panas terjadi dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah yang berlangsung sampai terjadi suhu kesetimbangan. Suhu kesetimbangan adalah kondisi dimana ketika proses perpindahan panas berhenti yang ditandai dengan kesamaan suhu dari kedua benda yang mengalami proses perpindahan panas. Proses perpindahan panas yang terjadi dalam rice cooker yaitu konduksi dan konveksi. Yang membedakan dari keduanya jenis perpindahan ini adalah pada media perpindahan panasnya.

2.4.1. Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan energi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Suatu energi berpindah secara konduksi

(*conduction*) atau hantaran, jika laju perpindahan panas berbanding dengan gradien suhu normal, dengan perumpamaan sepertipada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar.2.6. Perpindahan panas konduksi dari temperatur panas ke temperatur dingin

Secara umum laju aliran panas konduksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{q}{A} \approx \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Jika dimasukkan konstan proporsionalitas (*proportionality constant*) atau tetapan kesetimbangan maka :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

Nilai konduktivitas thermal beberapa bahan dalam tabel 2.1, untuk memperlihatkan urutan besaran yang mungkin didapatkan dalam praktek.

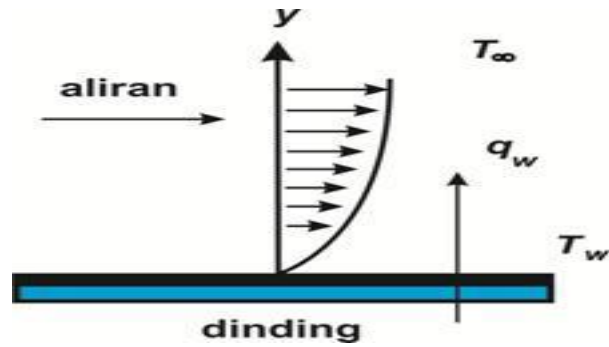
Tabel 2.1. Konduktivitas thermal berbagai bahan pada 0° C

Bahan	Konduktivitas thermal, k	
	$W/m \cdot ^\circ C$	$Btu /h.ft.^{\circ}F$
Logam		
Perak (murni)	410	237
Tembaga (murni)	385	223
Alumanium (murni)	202	117
Nikel (murni)	93	54
Besi (murni)	73	42
Baja Karbon, 1% C	43	25
Bukan logam		
Batu pasir	1,83	1,06
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol gelas	0,038	0,022

Sumber : lit, 1 hal 7, *Perpindahan Kalor, J.P. Holman*

2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel - partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel - partikel tersebut. Kedua, partikel - partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel - partikel fluida lainnya, seperti pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7. Perpindahan panas konveksi dari suatu plat

Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*freeconvection*) dan konveksi paksa (*forcedconvection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Laju perpindahan panas antara suatu permukaan plat dan suhu fluida dapat dihitung dengan persamaan :

$$q = h A(T_0 - T_\infty) \quad (2.3)$$

Nilai kira – kira koefisien perpindahan panas konveksi ditunjukkan pada Tabel 2.2, antara lain :

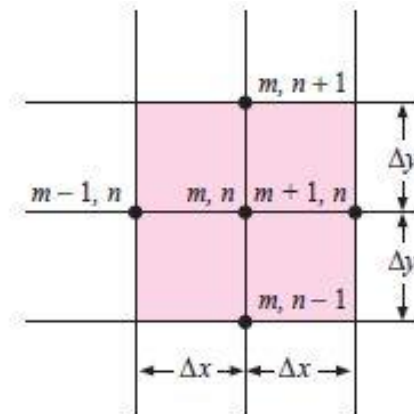
Tabel 2.2. Nilai kira – kira koefisien perpindahan panas konveksi

	Koefisien perpindahan panas, h	
	$W/m \cdot ^\circ C$	$Btu/h.ft.^{\circ}F$
Konveksi bebas, $\Delta T = 30^\circ C$		
Plat Vertikal, tinggi 0,3 (1 ft) di udara	4,5	0,79
Slinder horisontal, diameter 5 cm di udara	6,5	1,14
Slinder horisontal, diameter 2 cm dalam air	890	157
Konveksi Paksa		
Aliran udara 2 m/s di atas plat bujur sangkar 0,75 m	12	2,1
Aliran udara 35 m/s di atas plat bujur sangkar 0,75 m	75	13,2
Udara 2 atm mengalir di dalam tabung diameter 2,5 cm, kecepatan 10 m/s	65	11,4

Sumber : lit, 1 hal 12, *Perpindahan Kalor, J.P. Holman*

2.4.3. Metode Analisa Numerik

Metode numerik didasarkan atas teknik beda – berhingga (*finite-difference technique*). Sebuah benda dua dimensi yang dibagi – bagi atas sejumlah jenjang tambahan kecil yang sama (*equal increments*) pada arah x dan y , sebagaimana terlihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8. Bagan yang menunjukkan nomenklatur yang digunakan dalam analisa numerik kondisi kalor dua-dimensi.

Titik – titik node diberi tanda seperti pada gambar, lokasi m menunjukkan tambahan di arah x , dan lokasi n tambahan diarah y . Untuk menentukan suhu pada setiap titik node di dalam benda yang kita gunakan beda-berhingga (*finite-difference*) untuk mendekati tambahan diferensial pada kordinat ruang dan suhu. Semakin kecil tambahan berhingga yang kita gunakan, semakin baik pula pendekatan kita terhadap distribusi suhu sebenarnya.

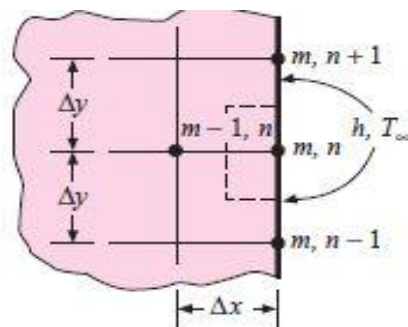
Jika $\Delta x = \Delta y$, maka

$$T_{m+1,n} + T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 4T_{m,n} = 0 \quad (2.4)$$

Sehingga persamaan yang lebih mudah menjadi :

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - 4T_n = 0 \quad (2.5)$$

Oleh karena dalam hal yang kita perhatikan ini konduktivitas thermal tetap, maka liran kalor dapat dinyatakan dalam difrensial suhu. Persamaan diatasdengansederhana menunjukkan bahwa aliran kalor netto pada setiap node ialah nol pada keadaan tunak. Pada hakekatnya, dalam pendekatan numerik beda-berhingga distribusi suhu yang kontinu digantikan dengan sejumlah batang penghantar kalor khayalan yang bersambungan pada setiap titik node, dan tidak mempunyai pembangkitan kalor. Untuk rumus-rumus node dengan kondisi batas konveksi yang tampak pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Nomenklatur untuk persamaan node dengan kondisi batas konveksi

Jika $\Delta x = \Delta y$, maka

$$0 = \frac{h\Delta x}{k} T_{\infty} + \frac{1}{2}(2T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}) - \left(\frac{h\Delta x}{k} + 2\right) T_{m,n} \quad (2.6)$$

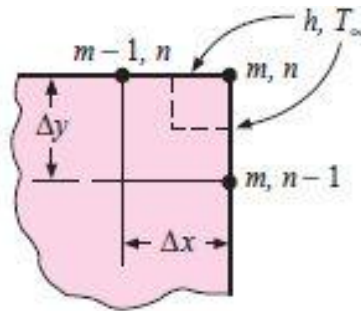
Sehingga persamaan yang lebih mudah menjadi :

$$T_{m,n} = \frac{T_{m-1,n} + (T_{m,n+1} + T_{m,n-1})/2 + \text{Bi} T_{\infty}}{2 + \text{Bi}} \quad (2.7)$$

Dimana,

$$\text{Bi} = \frac{h\Delta x}{k}$$

Sedangkan node dengan konveksi pada bagian sudut seperti gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10. Nomenklatur untuk persamaan node dengan konveksi pada bagian sudut.

Jika $\Delta x = \Delta y$, maka

$$0 = 2\frac{h\Delta x}{k} T_{\infty} + (T_{m-1,n} + T_{m,n-1}) - 2\left(\frac{h\Delta x}{k} + 1\right) T_{m,n} \quad (2.8)$$

Sehingga persamaan yang lebih mudah menjadi :

$$T_{m,n} = \frac{(T_{m-1,n} + T_{m,n-1})/2 + \text{Bi} T_{\infty}}{1 + \text{Bi}} \quad (2.9)$$

Dimana,

$$\text{Bi} = \frac{h\Delta x}{k}$$

Jika suhu ditentukan, maka aliran kalor dapat dihitung dari rumus :

$$q = \sum k \Delta x \frac{\Delta T}{\Delta y} \quad (2.10)$$

2.5. Aluminium

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam.

Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu aluminium *wrought alloy* (lembaran) dan aluminium *casting alloy* (batang cor). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leburnya pada suhu 660⁰C, aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil(tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam.

Perlu diketahui aluminium merupakan logam yang paling banyak terkandung di kerak bumi. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain. Saat ini aluminium berkembang luas dalam banyak aplikasi industri seperti industri otomotif, rumah tangga, maupun elektrik, karena beberapa sifat dari aluminium itu sendiri, yaitu:

1. Ringan

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik 700 Mpa (100 ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, maupun pada roket.

2. Mudah dalam pembentukannya

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining*. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal *FCC (Face Centered Cubic)*, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Bahan aluminium mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks dan tipis sekalipun, seperti bingkai jendela, lembaran aluminium foil, rel, gording, dan lain sebagainya.

3. Tahan terhadap korosi

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi.

4. Konduktifitas panas tinggi

Konduktifitas panas aluminium tiga kali lebih besar dari besi, maupun dalam pendinginan dan pemanasan. Sehingga aplikasi banyak digunakan

pada radiator mobil, koil pada evaporator, alat penukar kalor, alat-alat masak, maupun komponen mesin.

5. Konduktifitas listrik tinggi

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

6. Tangguh pada temperatur rendah

Aluminium tidak menjadi getas pada temperatur rendah hingga -100°C , bahkan menjadi lebih keras dan ketangguhan meningkat. Sehingga aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah.

7. Tidak beracun

Aluminium tidak memiliki sifat racun pada tubuh manusia, sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman, serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

8. Mudah didaur ulang (*recyclability*)

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energi dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Pada analisa ini digunakan aluminium seri 3003-O yang mengandung komposisi standar dari paduan 98,6 % Al, 1,2 % Mn dan 0,12 % Cu. Aplikasi - Paduan 3003 biasanya digunakan untuk industri bangunan, industri kimia,

peralatan untuk pemanasan dan pendinginan, peralatan rumah tangga, peralatan masak.

2.6. Solidwork

2.6.1 Sejarah *Solidwork*

Solidworks adalah salah satu CAD software yang dibuat oleh DASSAULT SYSTEMES dimana software ini digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part nya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan. *Solidworks* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai pesaing untuk program CAD seperti Pro-ENGINEER, NX Siemens, I-Deas, Unigraphics, Autodesk Inventor, Autodeks AutoCAD dan CATIA. *SolidworksCorporation* didirikan pada tahun 1993 oleh Jon Hirschtick, dengan merekrut tim insinyur profesional untuk membangun sebuah perusahaan yang mengembangkan perangkat lunak CAD 3D, dengan kantor pusatnya di Concord Massachusetts dan merilis produk pertama, *Solidworks 95* pada tahun 1995.

Pada tahun 1997 Dassault Systèmes, yang terkenal dengan CATIA CAD software, mengakuisisi perusahaan dan sekarang ini memiliki 100% dari saham *Soliworks*. *Solidworks* dipimpin oleh John McEleney dari tahun 2001 hingga Juli 2007, dan sekarang dipimpin oleh Jeff Ray. Saat ini banyak industri manufaktur yang sudah memakai *software* ini, menurut informasi WIKI , *Solidworks* saat ini digunakan oleh lebih dari 3/4 juta insinyur dan desainer di lebih dari 80.000 perusahaan di seluruh dunia. Di Indonesia, dulu orang familiar dengan AUTOCAD untuk desain perancangan gambar teknik seperti yang penulis alami,

tapi sekarang dengan mengenal *Solidworks* maka AUTOCAD sudah jarang digunakan.

Untuk permodelan pada industri pengecoran logam dalam hal pembuatan pattern nya, program program 3D seperti ini sangat membantu sebab akan memudahkan operator pattern untuk menterjemahkan gambar menjadi pattern atau model casting pengecoran logam dan tentunya akan mengurangi kesalahan pembacaan gambar yang bisa mengakibatkan salah bentuk. Pada industri permesinan, selain dihasilkan gambar kerja untuk pengerjaan mesin manual juga hasil geometri dari dari suatu produk desain, aplikasi pada *Solidworks* ini bisa secara langsung diproses dengan CAM program untuk membuat G Code yang dipakai untuk menjalankan proses permesinan automatic dengan CNC, software aplikasi CAM yang bisa digunakan antaralain :

- MASTERCAM
- SOLIDCAM
- VISUALMILL

dan lain-lain.

2.6.2 Fungsi-fungsi *SolidWork*

Solidwork merupakan *software* yang digunakan untuk membuat desain produk dari yang sederhana sampai yang kompleks seperti roda gigi, casing handphone, mesin mobil, dsb. software ini merupakan salah satu opsi diantara design software lainnya sebut saja catia, inventor, Autocad, dan lain sebagainya. namun bagi yang berkecimpung dalam dunia teknik khususnya teknik mesin dan teknik industri, file ini wajib dipelajari karena sangat sesuai dan prosesnya lebih cepat daripada harus menggunakan autocad. File dari *Solidwork* ini bisa di ekspor

ke software analisis semisal Ansys, FLOVENT, dll. desain kita juga bisa disimulasikan, dianalisis kekuatan dari desain secara sederhana, maupun dibuat animasinya.

Solidworks dalam penggambaran atau pembuatan model 3D menyediakan *feature-based, parametric solid modeling*. *Feature-based* dan *parametric* ini yang akan sangat mempermudah bagi usernya dalam membuat model 3D. karena hal ini akan membuat kita sebagai user bisa membuat model sesuai dengan intuisi kita.

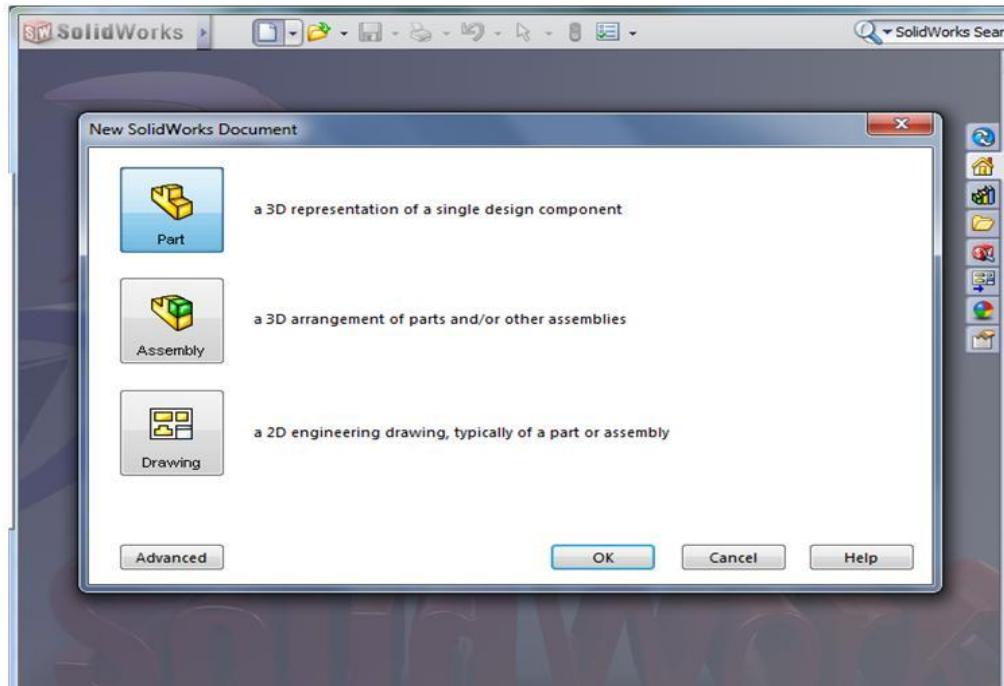
Tampilan *software Solidwork* tidak jauh berbeda dengan *software – software* lain yang berjalan diatas windows, jadi tidak ada yang akan merasa aneh dengan tampilan dari *Solidworks*. gambar dibawah merupakan tampilan awal dari *Solidworks*.

Solidworks menyediakan 3 templates utama yaitu:

1. *Part* adalah sebuah object 3D yang terbentuk dari *feature – feature*. Sebuah part bisa menjadi sebuah komponen pada suatu *assembly*, dan juga bisa digambarkan dalam bentukan 2D pada sebuah drawing. *Feature* adalah bentukan dan operasi – operasi yang membentuk part. Base feature merupakan feature yang pertama kali dibuat. Extension file untuk part *Solidworks* adalah SLDPRT.
2. *Assembly* adalah sebuah document dimana parts, feature dan assembly lain(*Sub Assembly*) dipasangkan atau disatukan bersama. Extension file untuk *Solidworks Assembly* adalah SLDASM.

Drawing adalah tempates yang digunakan untuk membuat gambar kerja 3D atau 2D engineering *Drawing* dari *single component(part)* maupun *Assembly* yang

sudah kita buat. Extension file Untuk *Solidworks Drawing* adalah SLDDRW. Adapun tampilan *Software Solidworks* seperti terlihat pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11. Tampilan *Software Solidworks*

BAB 3

METODOLIGI PENELITIAN

3.1. Tempat Dan Waktu

3.1.1. Tempat

Tempat pelaksanaan proses penelitian dan simulasi dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan di rumah untuk analisa perpindahan panas yang terjadi pada *inner cookingpan* dari *heating plate* dengan menggunakan *software solidworks*.

3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan analisa ini dimulai dari persetujuan yang diberikan oleh pembimbing, pengambilan data, perancangan dimensi alat, pengolahan data hingga kemudian melakukan simulasi menggunakan *Software Solidworks*.

3.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam proses simulasi ini ialah :

1. Komputer atau Laptop

Pada proses simulasi yang akan dilakukan ini peneliti menggunakan minimal komputer atau laptop pentium 4, amd core 2 atau core i3 dengan ram 2 gigabyte atau 4 gigabyte dan laptop sudah terinstal *software solidworks*

2. *Software Solidworks*

Disini peneliti menggunakan *Software Solidworks* 2012 dengan system operasi laptop type 32-bit dan ram yang dibutuhkan 2 gigabyte atau lebih.

3.3. Tahap Pelaksanaan

Secara umum langkah kerja simulasi terdiri dari 3 tahapan sebagai berikut:

a) Pre-processor

Pada tahap ini prosesor yang dilakukan adalah :

- Mendefinisikan geometri model kebentuk 3D
- Membuat Grid atau Domain Komputasi

b) Solver

Pada tahap ini dilakukan proses komputasi numerik dengan salah satu metode numerik yang mensubstitusikan data untuk mengatur aliran panas pada heater seperti mengatur properties, kondisi batas, kondisi awal.

c) Post processor

Pada tahap ini hasil komputasi divisualisasikan dan di dokumentasikan untuk melakukan analisa dan lainnya.

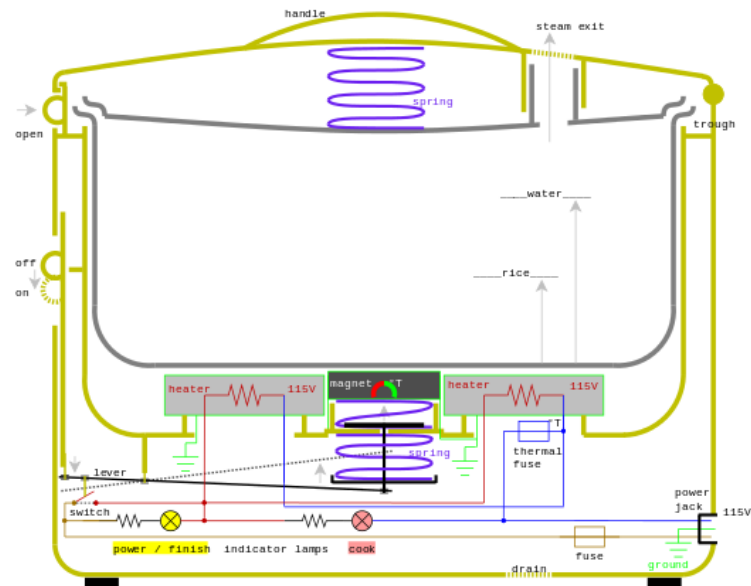
3.4 Spesifikasi Rice cooker

1. Miyako MCM528 Rice Cooker 1,8 Liter

Dengan memperlihatkan Miyako MCM528 Rice Cooker pada gambar 3.1 dan Sketsa bagian dalamnya pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.1 Miyako MCM528 Rice Cooker 1,8 Liter



Gambar 3.2 Sketsa bagian dalam Rice Cooker

Keterangan :

Kapasitas	: 1.8 Liter
Konsumsi Daya	: 395 Watt
Dimensi	: 29 x 29 x 30 cm
Berat	: 3 Kg

2. Spesifikasi *inner cooking pan*

Contoh *inner cooking pan* yang di tunjukan pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3. *inner cooking pan*

Keterangan :

Diameter lingkaran atas	: 24 cm
Diameter lingkaran bawah	: 20 cm
Tinggi pan	: 15 cm
Material	: Aluminium 3003-O

3. Spesifikasi *heating plate*

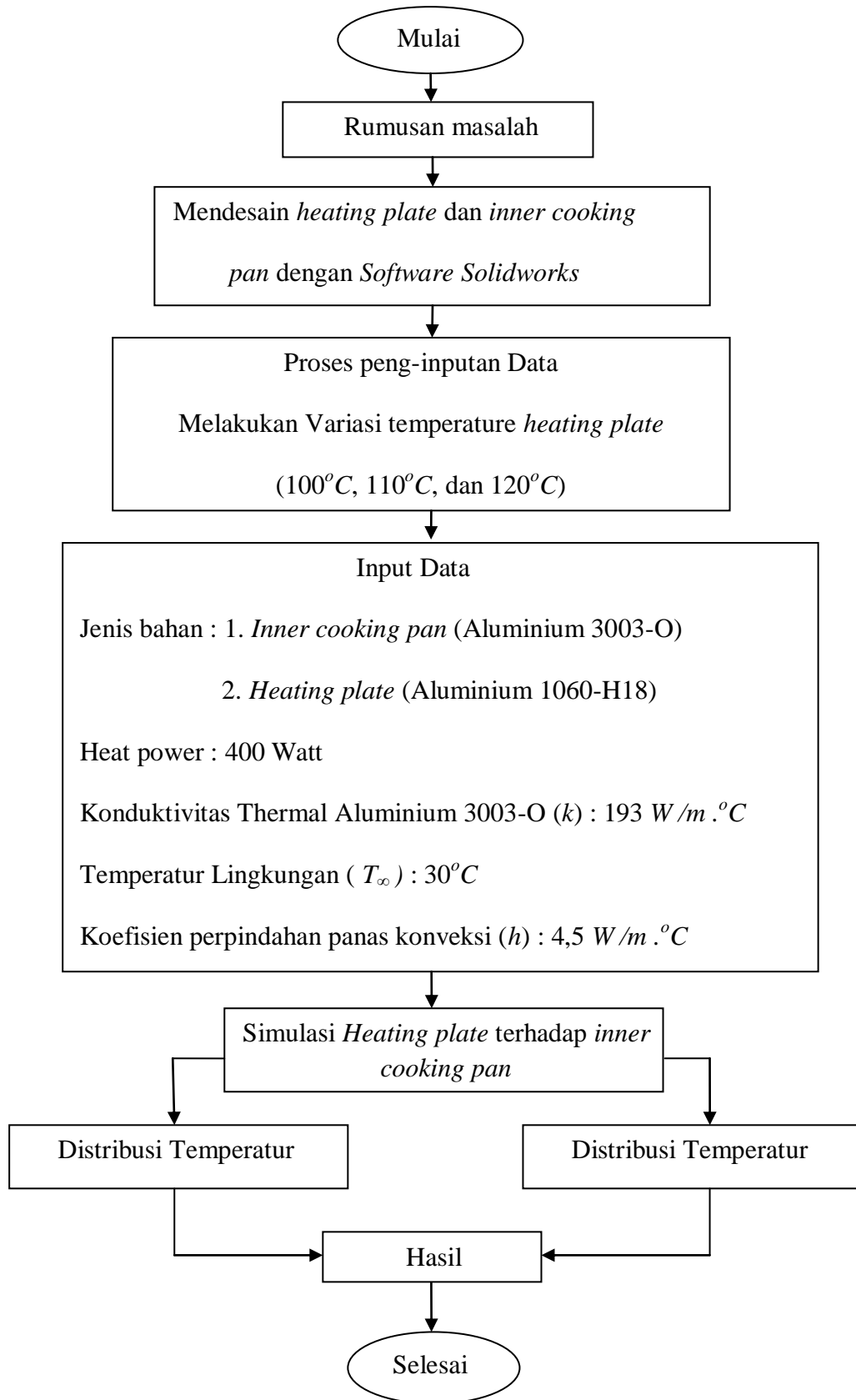
Contoh *heating plate* yang diambil ditunjukan pada gambar 3.4 dibawah ini.

Warna	: Silver Tone
Material	: Aluminum 1060 –H18
Ketahanan Daya	: 650W
Tegangan	: AC 220V
Terminal	: 2 Pin
Dia.(Approx)	: 164 mm x 43 mm
Tinggi pin penyangga	: 18 mm
Tinggi (Termasuk Terminal)	: 28 mm
Diameter lubang tengah	: 3,3mm
Berat	: 369g



Gambar 3.4. *Heating Plate for Electric Rice Cooker*

3.5 Diagram alir



3.6 Prosedur Penelitian

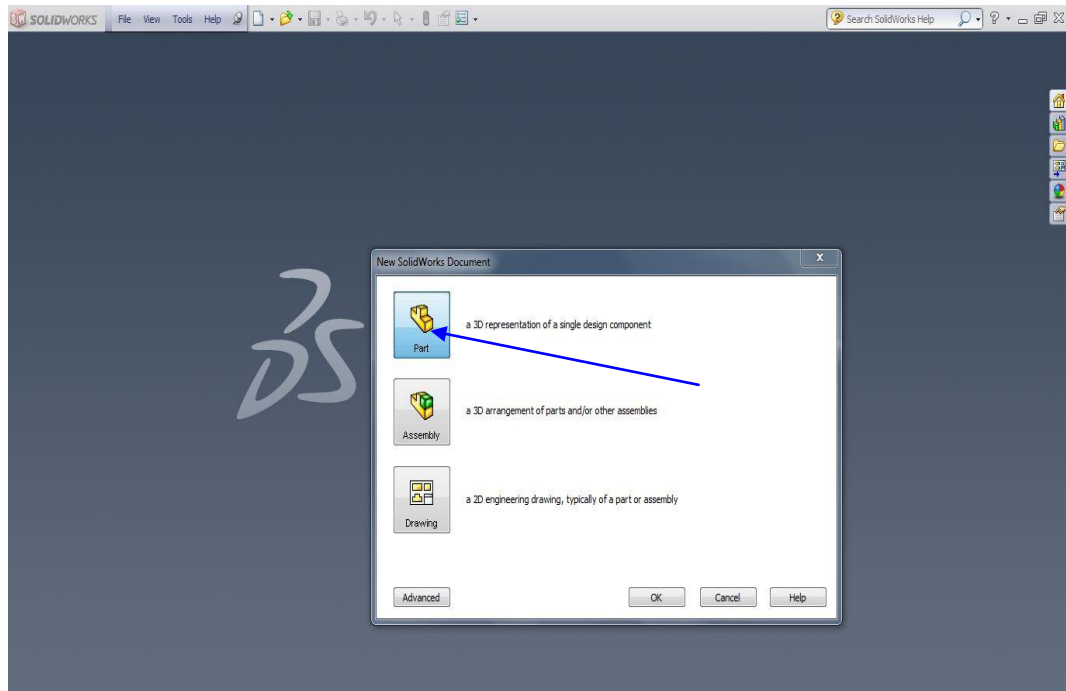
Langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan prosedur penelitian perpindah panas pada *inner cooking* pan dari *heating plate* adalah sebagai berikut:

1. Mengambil data – data rancangan dari literatur dan refrensi yang ada dibuku dan internet.
2. Melakukan tahapan *Pre-prosesor* atau membuat komponen – komponen *Rice Cooker* menggunakan *software Solidworks* sesuai data atau dimensi yang didapat dari spesifikasi yang di cantumkan.
3. Melakukan tahapan *Solver* atau melakukan proses simulasi dengan cara memasukan data – data perpindahan panas dan memvariasikan temperatur pada *heating plate*.
4. Melakukan tahapan *Post processor* dengan cara mendapatkan hasil komputasi divisualisasikan dan mendokumentasikan hasil simulasi.

3.7 Mendesain *Heating Plate* dan *Inner Cooking Pan* untuk *Rice Cooker* Dengan Menggunakan *Software Solidworks*.

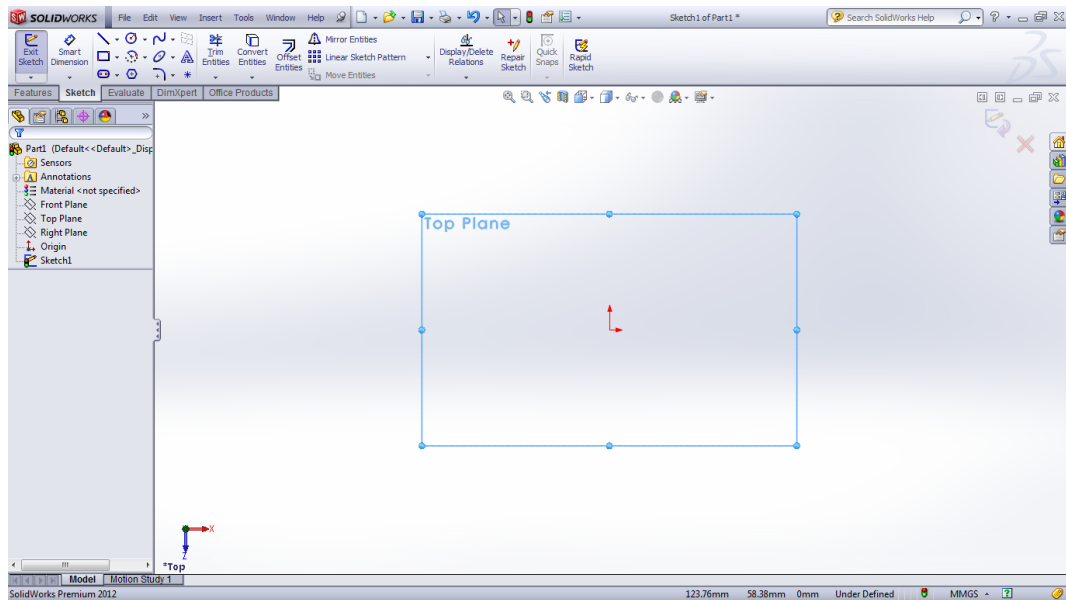
3.7.1 *Pre prossesor* : Membuka Lembar Kerja Baru Di Solidworks

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk mendesain *Heating Plate* , dan *Inner Cooking Pan* dengan menggunakn *Software Solidworks* yang sudah terinstal pada komputer / laptop. Kemudian untuk memulai lembar kerja baru dengan mengklik *File* pada sisi atas Program *Solidworks* dan pilih *New* kemudian klik dua kali pada bagian *Part* atau pilih *Part* kemudian *ok* seperti gambar 3.5.



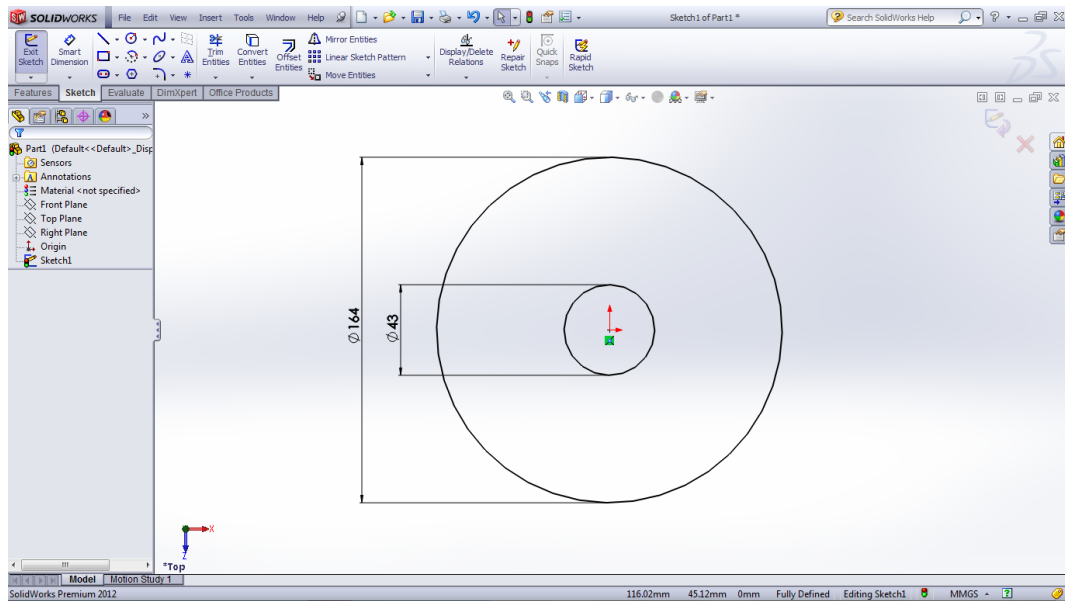
Gambar 3.5 Memilih menu part baru

Untuk membuat *Heating Plate* pilih menu *Part* baru kemudian masuk ke menu *sketch* dan pilih sisi mulai gambar sesuai dengan gambar 3.6.



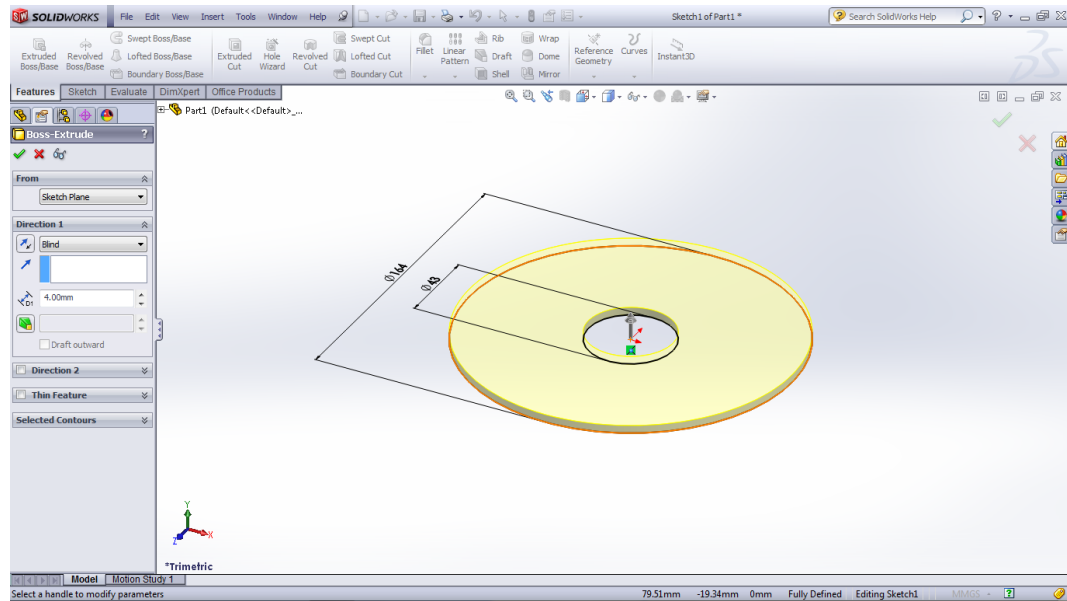
Gambar 3.6. Sisi mulai gambar untuk mendesain *heating plate*

Masuk ke menu *Toolbar sketch* dan klik *Circle* untuk membuat sketsa lingkaran gambar dengan menggunakan *Smart dimension* dan memasukkan nilai sebesar 43 mm untuk diameter dalam dan 164 mm untuk diameter luar. Yang tampak pada gambar 3.7.



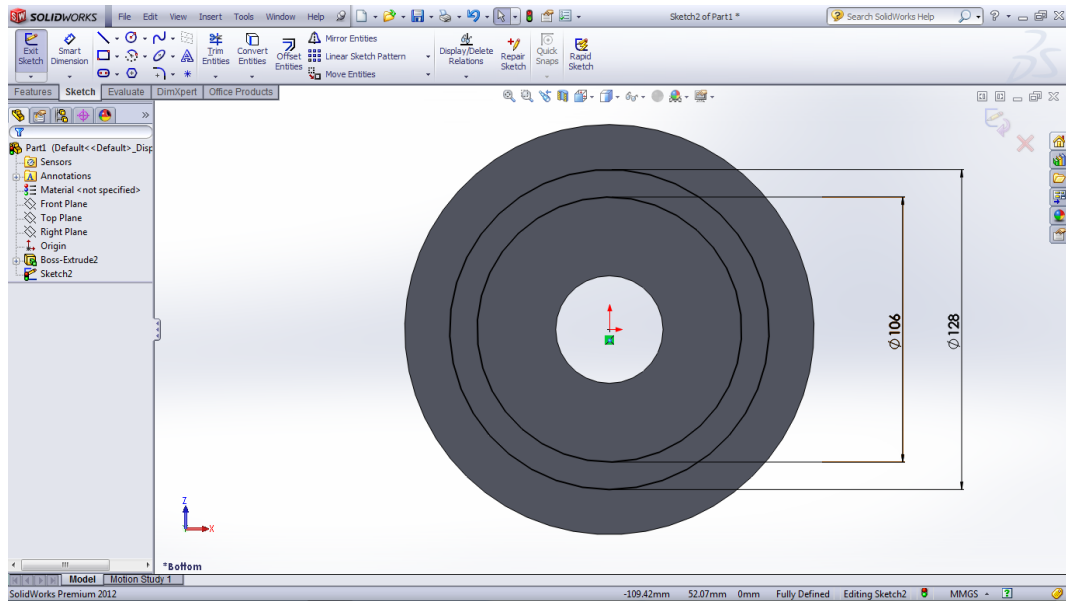
Gambar 3.7. Sketsa lingkaran bagian diameter dalam dan luar untuk *heating plate*

Setelah membuat sketsa dengan ukuran yang dibutuhkan masuk ke menu *Toolbar Features*, kemudian klik *Extruded Boss/ Base* untuk membuat gambar 3D *Heating plate* dan memasukkan nilai sebesar 4 mm. Yang di perlihatkan pada gambar 3.8.

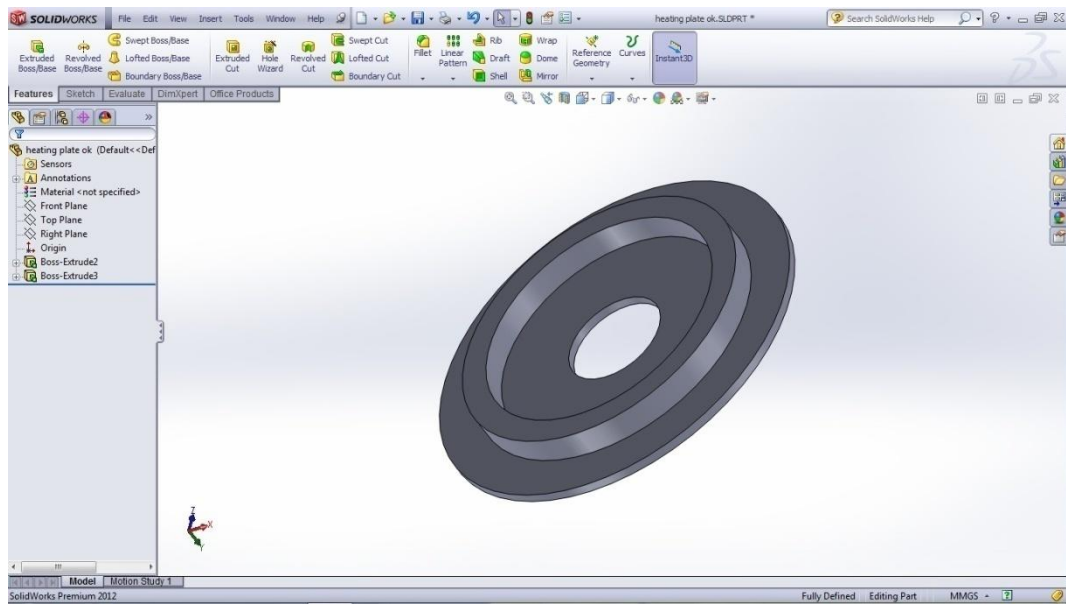


Gambar 3.8. Membuat bentuk 3D *Heating plate*

Kemudian klik *view orientation* pilih *Trimetric* untuk menggambar dari sisi bawah heating plate, selanjutnya ke menu *Toolbar* klik *sketch* pilih *Circle* dan buat ukurannya untuk d_1 sebesar 106 mm dan d_2 sebesar 128 mm melalui *Smart Dimension* dan klik tanda ceklis atau klik kanan yang tampak pada gambar 3.9. Untuk mendapatkan bentuk 3D dari d_1 dan d_2 kita harus ke menu *Toolbar* dan klik *Extruded Boss/ Base* dan masukkan nilainya sebesar 12 mm seperti pada gambar 3.10.

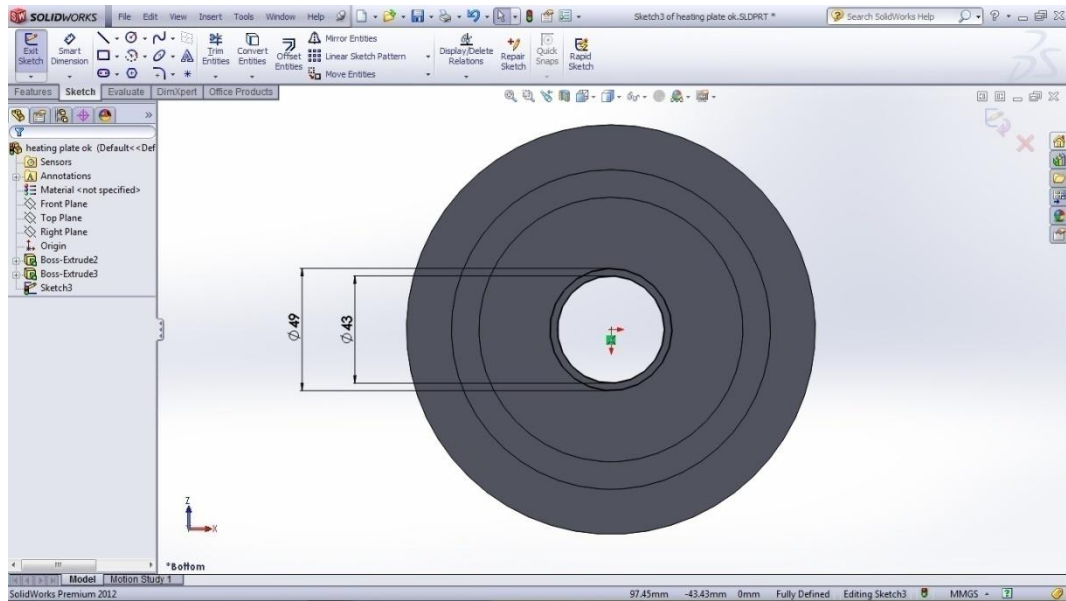


Gambar 3.9. Sketsa lingkaran d_1 dan d_2 bagian bawah *heating plate*



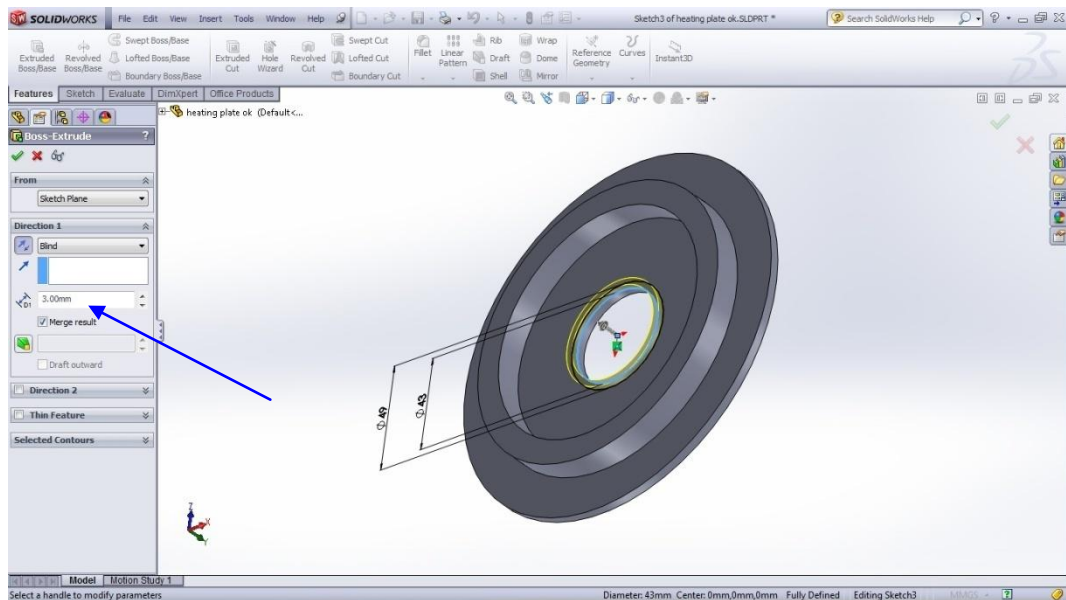
Gambar 3.10. Sketsa 3D lingkaran d_1 dan d_2 bagian bawah *heating plate*

Kembali ke sisi bawah lagi untuk membuat d_3 dan d_4 sesuai dengan desain melalui menu *Toolbar* dan klik *sketch* dan baut ukurannya untuk d_3 sebesar 43 mm dan d_4 sebesar 49 mm seperti pada gambar 3.11.



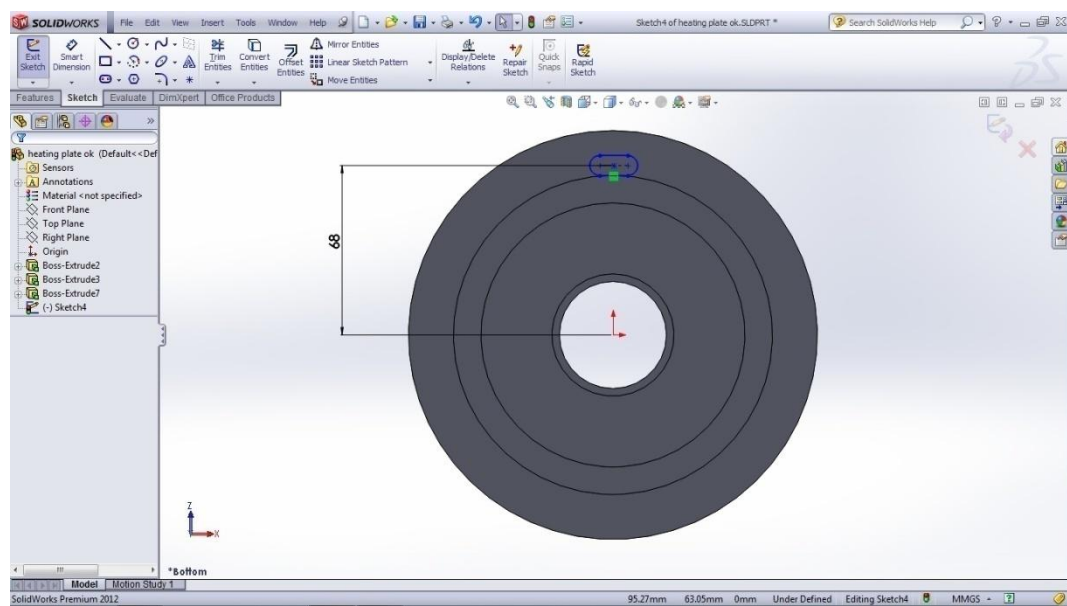
Gambar 3.11. Sketsa lingkaran d_3 dan d_4 bagian bawah *heating plate*

Setelah sketsa selesai dibuat selanjutnya masuk kembali ke menu *Toolbar Features* kemudian klik *Extruded Boss/ Base* dan masukkan nilainya sebesar 3 mm seperti yang di tunjukkan pada gambar 3.12 kemudian klik kanan.

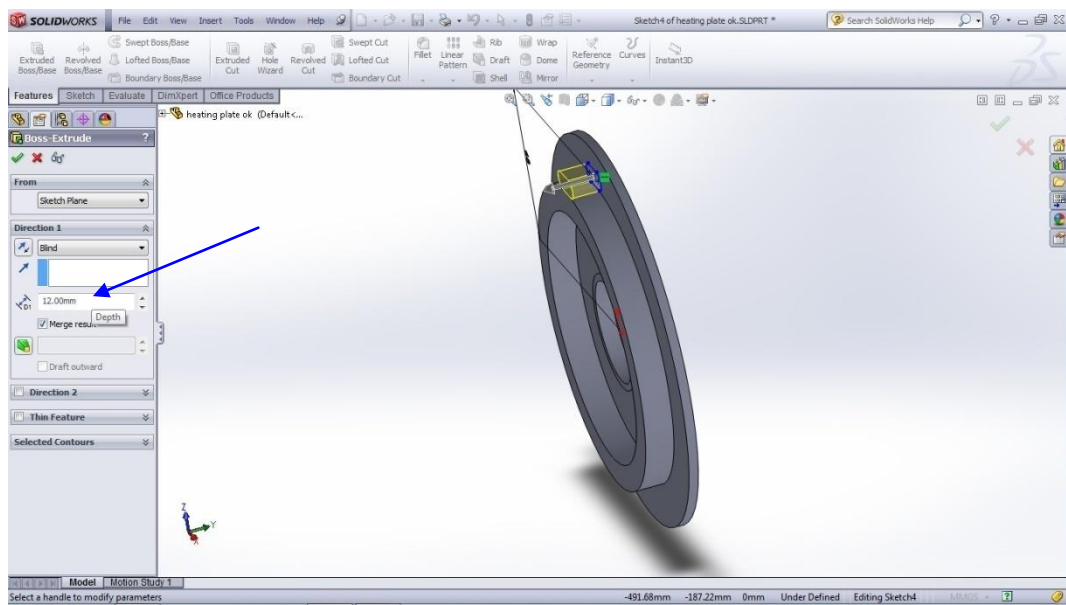


Gambar 3.12. Sketsa 3D lingkaran d_3 dan d_4 bagian bawah *heating plate*

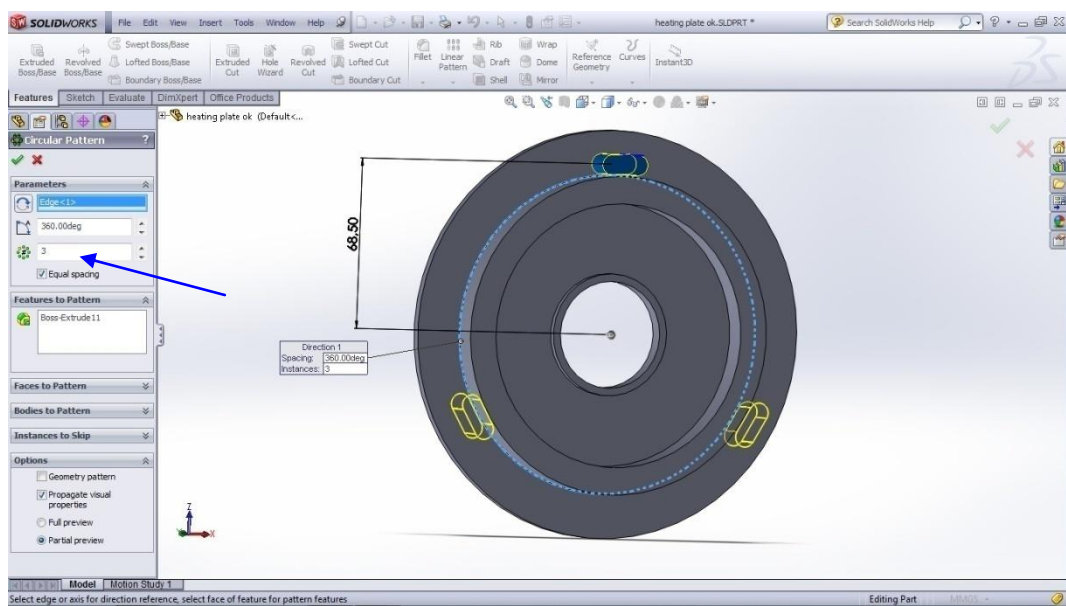
Bentuk yang akan dibuat selanjutnya adalah pin tambahan yang berbentuk *straigh slot* yang berada di dekat d_1 dengan cara mulai dari sisi bawah lagi dan klik face yang akan di gambar kemudian ke menu *Toolbar skecth* dan klik *straigh slot* buat radius sebesar 12 dan atur jarak antara *center origin* sebesar 68 mm seperti pada gambar 3.13. Setelah selesai membuat sketsanya harus di buat lagi ke sketsa 3D dengan memasukkan nilai sebesar 12 mm pada menu *Toolbar Features* kemudian klik *Extruded Boss/ Base* sehingga sama dengan d_1 dan d_2 . Kemudian untuk mendapatkan 3 buah pin tambahan ini harus menuju menu *insert* pilih *Pattern /Mirror* klik *circular pattern* klik facenya dan klik lingkaran bawah d_4 dan klik kanan atau ok yang di tunjukkan pada gambar 3.14 dan gambar 3.15.



Gambar 3.13. Sketsa pin tambahan pada bagian bawah *heating plate*

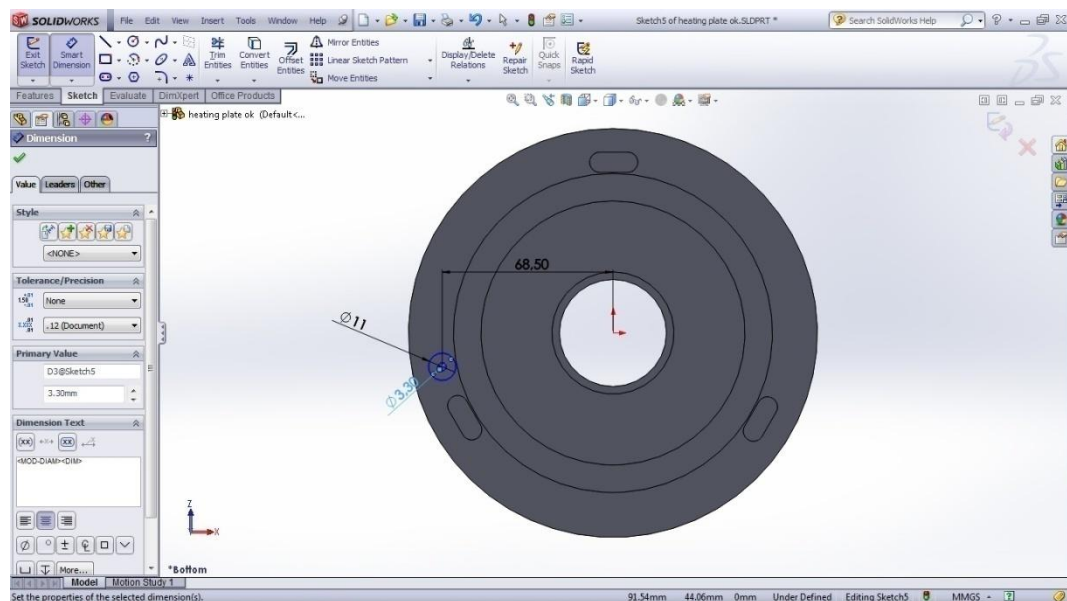


Gambar 3.14. Sketsa 3D pin tambahan bagian bawah *heating plate*

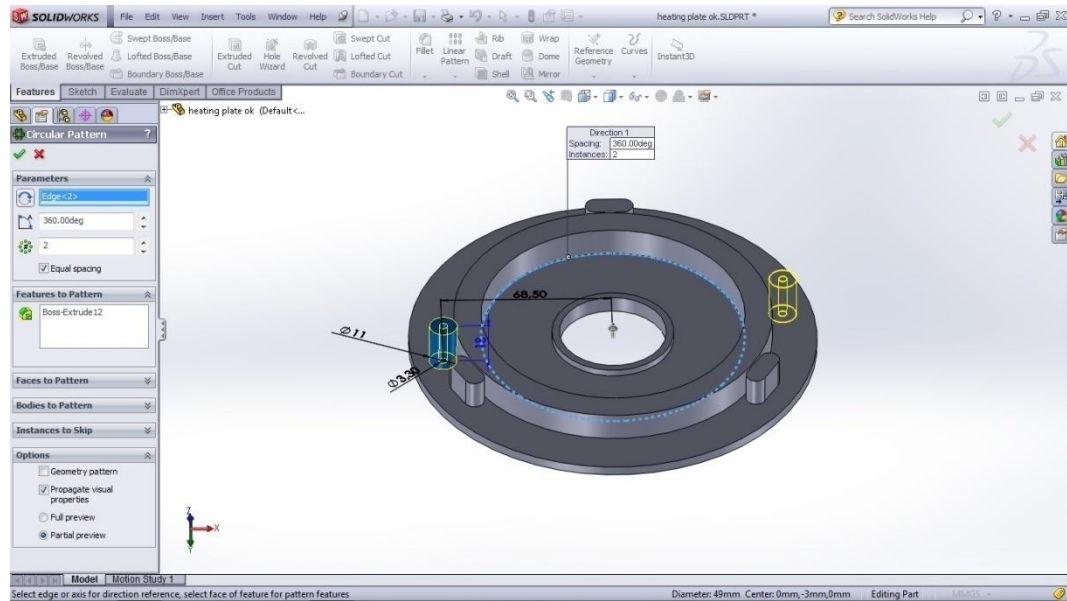


Gambar 3.15. Sketsa 3D tiga pin tambahan bagian bawah *heating plate*

Langkah selanjutnya membuat pindudukan di luar lingkaran d_2 dengan menggambar lagi dari sisi yang sama yaitu sisi bawah *heating palte* dan masuk ke menu *Toolbar skecth*, kemudian pilih *circle* pada face yang di pilih dan buat diameter luarnya sebesar 11mm dan diameter dalam sebesar 3,3 mm tentunya dengan bantuan *Smart Dimension* dan masukkan nilai tersebut, tampak pada gambar 3.16. Seterusnya pin dibuat 3D dengan mengklik *ToolbarFeatures* kemudian klik *Extruded Boss/ Base* masukkan nilainya sebesar 18 mm. Kemudian pin penyangga yang dibutuhkan sebanyak dua buah, maka klik *insert* pilih *Pattern /Mirror* klik *circular pattern* klik facenya dan klik lingkaran bawah d_4 dan klik kanan seperti pada gambar 3.17.

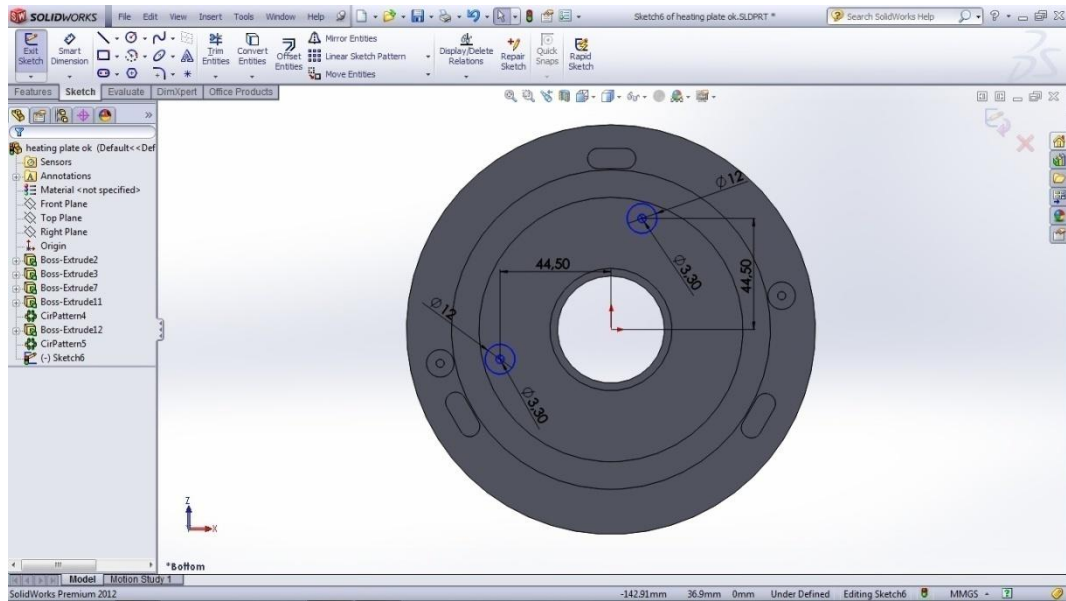


Gambar 3.16. Sketsa pin penyangga pada *heating plate*

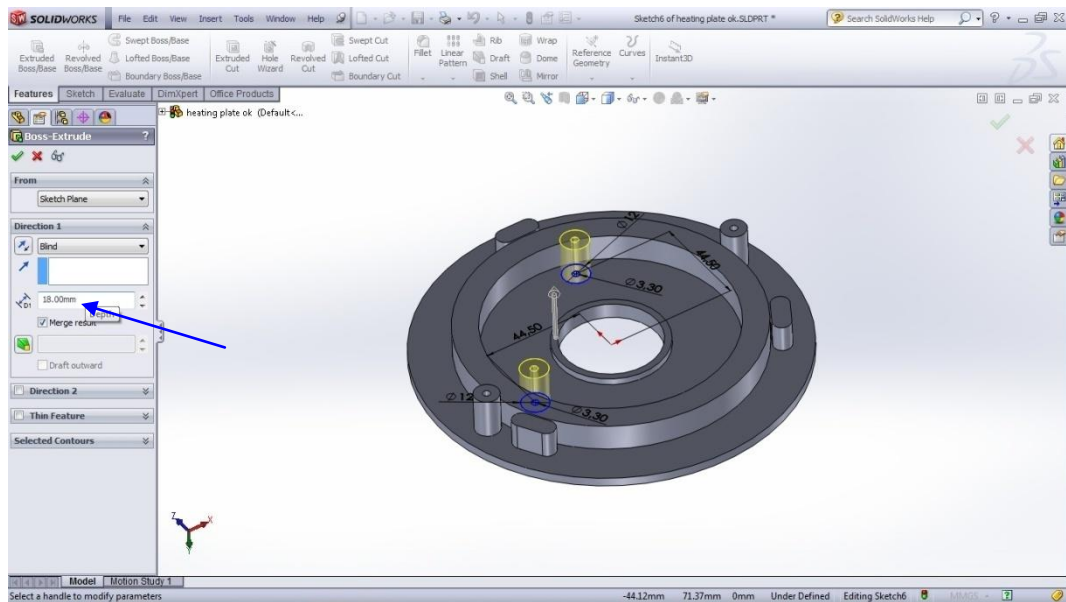


Gambar 3.17. Sketsa 3D dua buah pin penyangga pada *heating plate*

Langkah selanjutnya membuat dua buah pin penyangga tambahan di dalam lingkaran d_4 dengan mengklik *sketch* kembali dari menu *Toolbar* pilih *circle* dan masukkan nilai diameter luar 12 mm dan diameter dalam 3,3 mm dengan ukuran dari jarak antara pin yaitu seperti yang ada pada gambar 3.18. Kemudian untuk mendapatkan tampilan 3D lagi kita harus ke menu *ToolbarFeatures* kemudian klik *Extruded Boss/ Base* masukkan nilainya sebesar 18 mm, seperti tampak pada gambar 3.19.



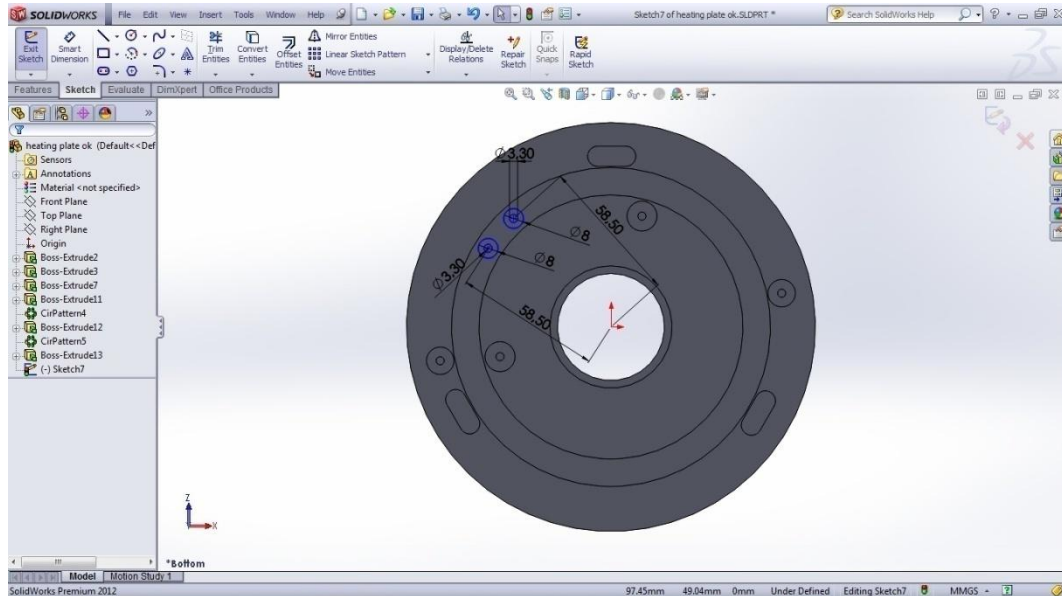
Gambar 3.18. Sketsa dua pin tambahan pada bagian lingkaran d_4



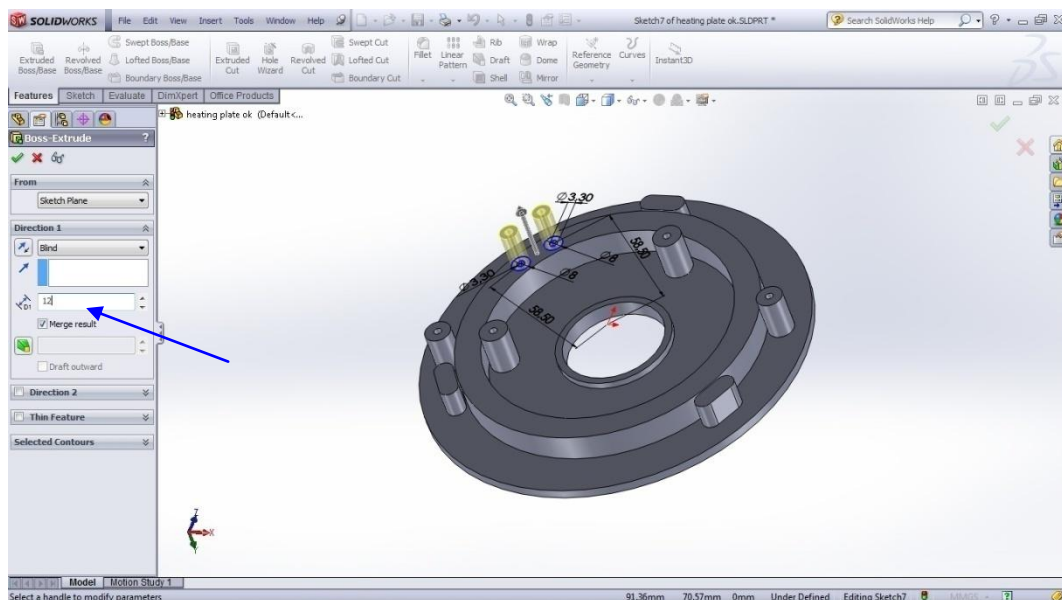
Gambar 3.19. Sketsa 3D dua pin tambahan pada bagian lingkaran d_4

Seterusnya kita juga membutuhkan dua buah pin terminal arus listrik diantara d_1 dan d_2 yaitu dengan menggambar melalui *Toolbar sketch* dan pilih *circle* kemudian masukkan nilai diameter luar 8 mm dan diameter dalam 3,3 mm tentunya dengan mengklik *Smart dimension* seperti gambar 3.20. Kemudian buat ke bentuk 3D

dengan klik menu *Toolbar Features* kemudian klik *Extruded Boss/ Base* masukkan nilainya sebesar 12 mm yang terlihat pada gambar 3.21.



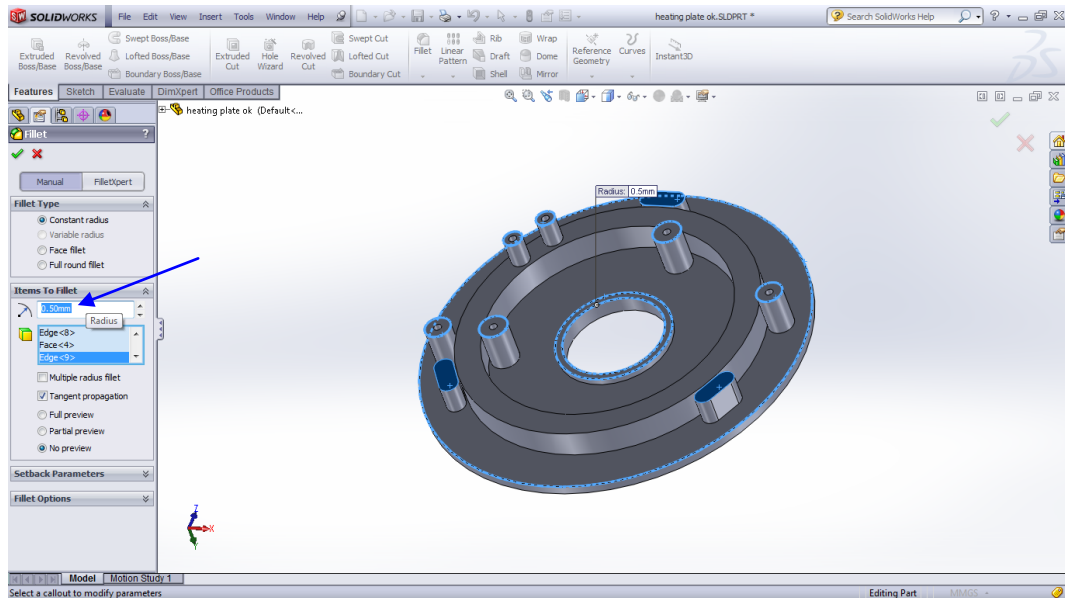
Gambar 3.20. Sketsa dua buah pin terminal arus listrik diantara d_1 dan d_2



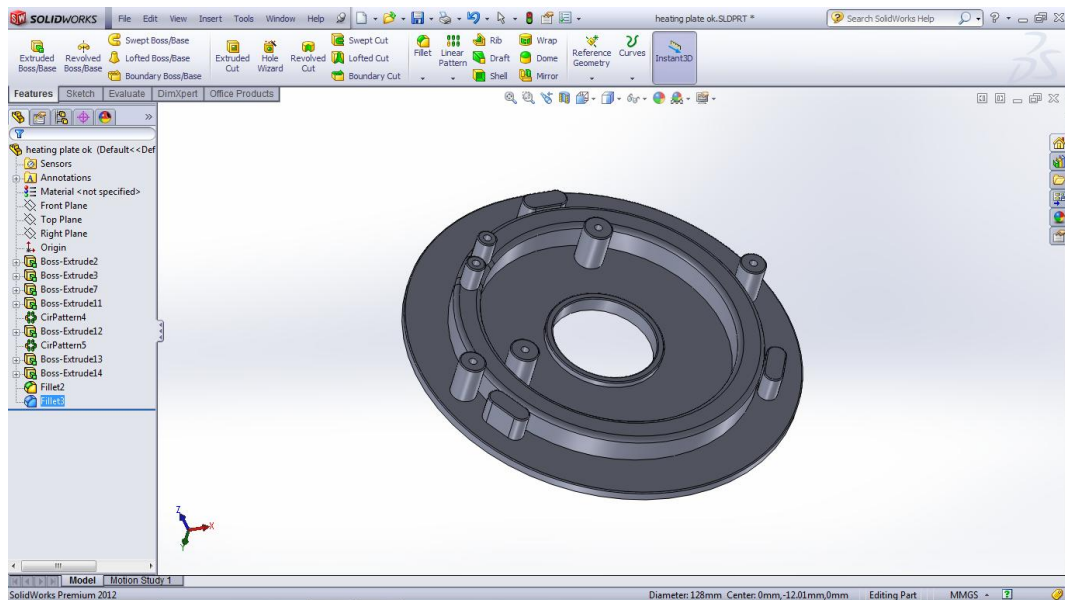
Gambar 3.21. Sketsa 3D dua buah pin terminal arus listrik diantara d_1 dan d_2

Untuk membuat bentuknya lebih minimalis dengan finishing, pilih menu *Toolbar* klik *fillet* dan masukkan nilai radius 0,5 mm untuk semua pin dan lingkaran d_3 dan

d₄ kemudian klik kanan atau ok seperti gambar 3.22. Dan untuk finishing liangkaran d₁ dan d₂ klik fillet lagi kemudian masukkan nilai radius 2 mm dan klik kanan atau ok yang di tunjukkan pada gambar 3.23.

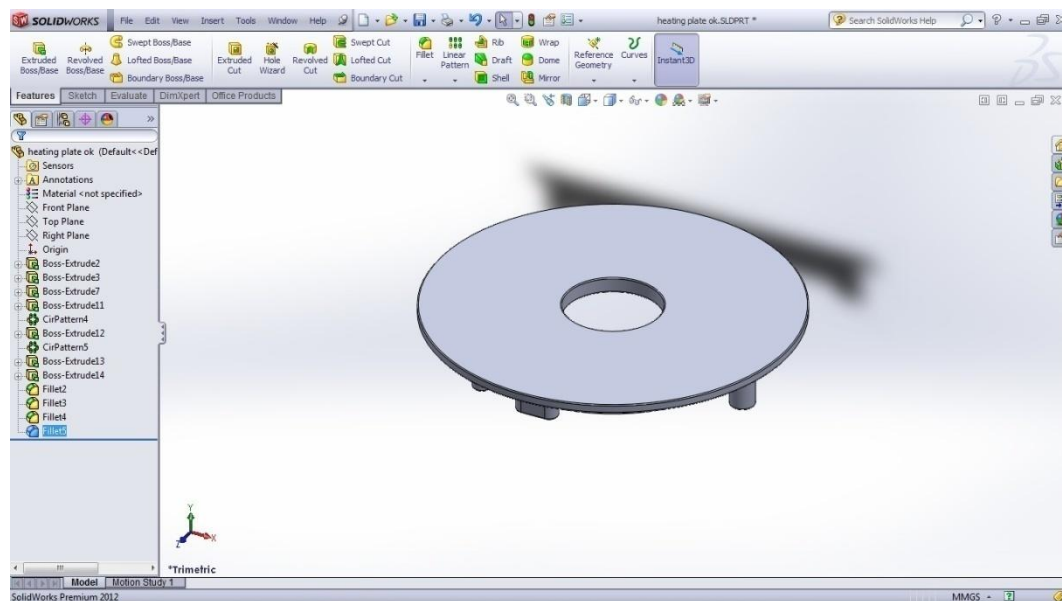


Gambar 3.22. *fillet* untuk semua pin dan lingkaran d₃ dan d₄ pada *heating plate*



Gambar 3.23. *fillet* untuk lingkaran d₁ dan d₂ pada *heating plate*

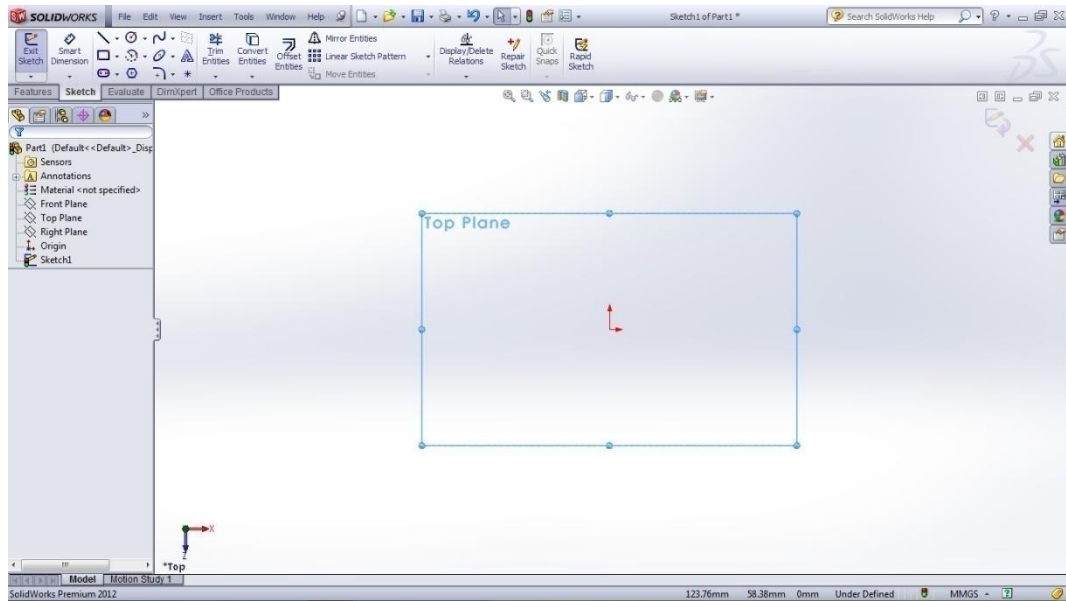
Dan untuk desain *heating plate* terakhir membuat *fillet* pada bagian sisi atas dengan cara klik *view orientation* pilih *trimetric* kemudian klik *fillet* pada menu *Toolbar* masukkan nilai radius 0,5 mm klik face yang akan di *fillet* dan klik kanan atau ok seperti pada gambar 3.24.



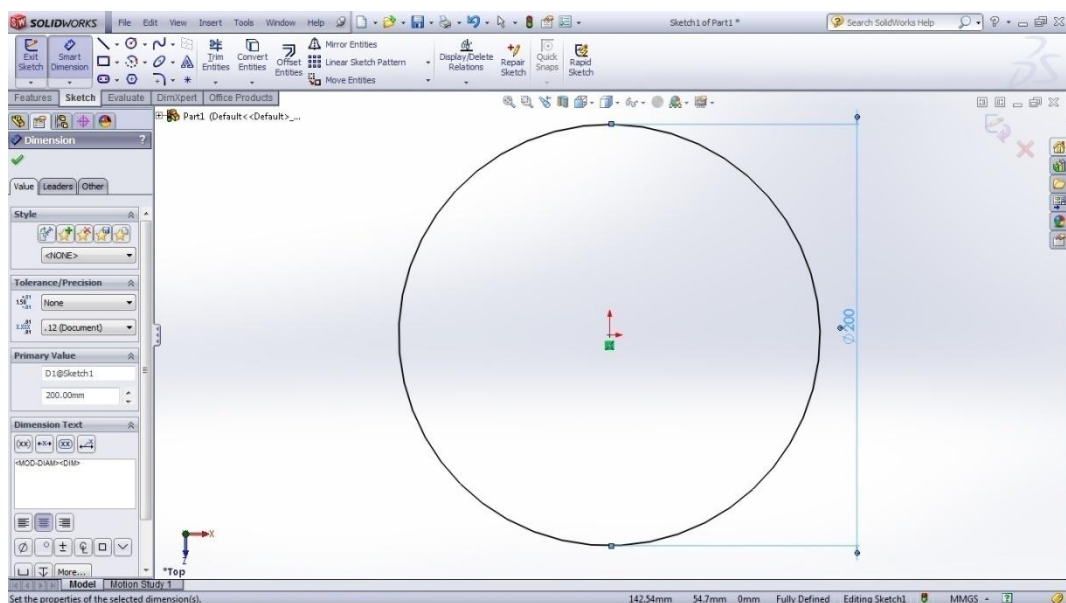
Gambar 3.24. Gambar tampilan sisi atas yang sudah di fillet

3.7.2 Desain *Inner Cooking Pan*

Langkah pertama yang harus dilakukan membuat part baru seperti pada gambar 3.25 kemudian masuk ke menu *sketch* dan pilih sisi mulai gambar sesuai dengan gambar dibawah ini. Masuk ke menu *Toolbar sketch* dan klik *Circle* untuk membuat sketsa lingkaran dengan diameter 200 mm yang di perlihatkan pada gambar 2.26.

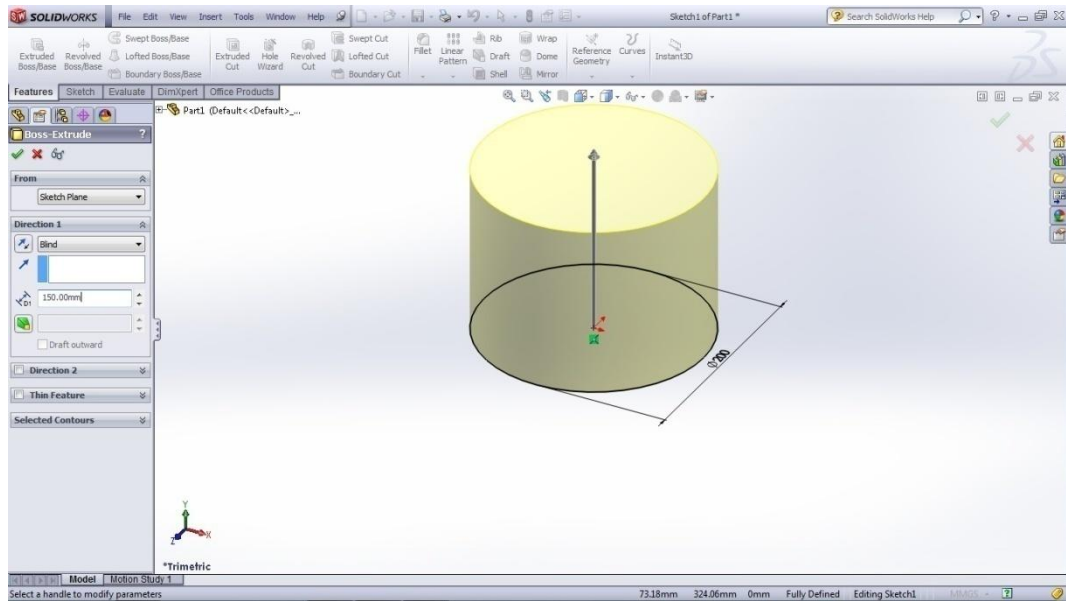


Gambar 3.25. Sketsa sisi mulai gambar *inner cooking pan*



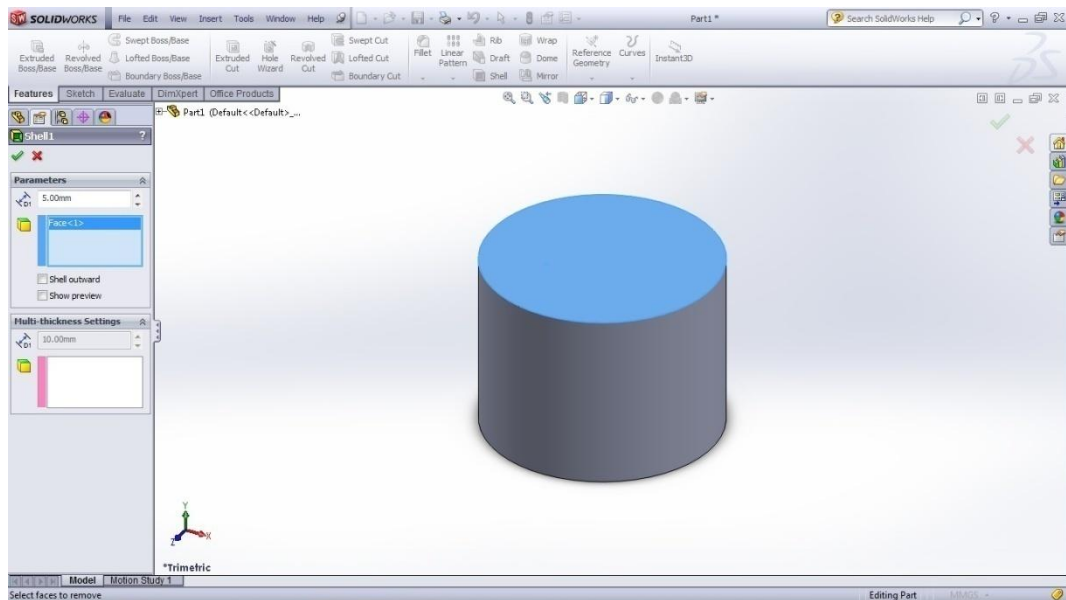
Gambar 3.26. Sketsa gambar *inner cooking pan*

Setelah membuat sketsa masuk ke menu *Toolbar Features* kemudian klik *Extruded Boss/Base* untuk membuat gambar 3D *inner cooking pan* dan memasukkan tinggi 143 mm seperti gambar 2.27.



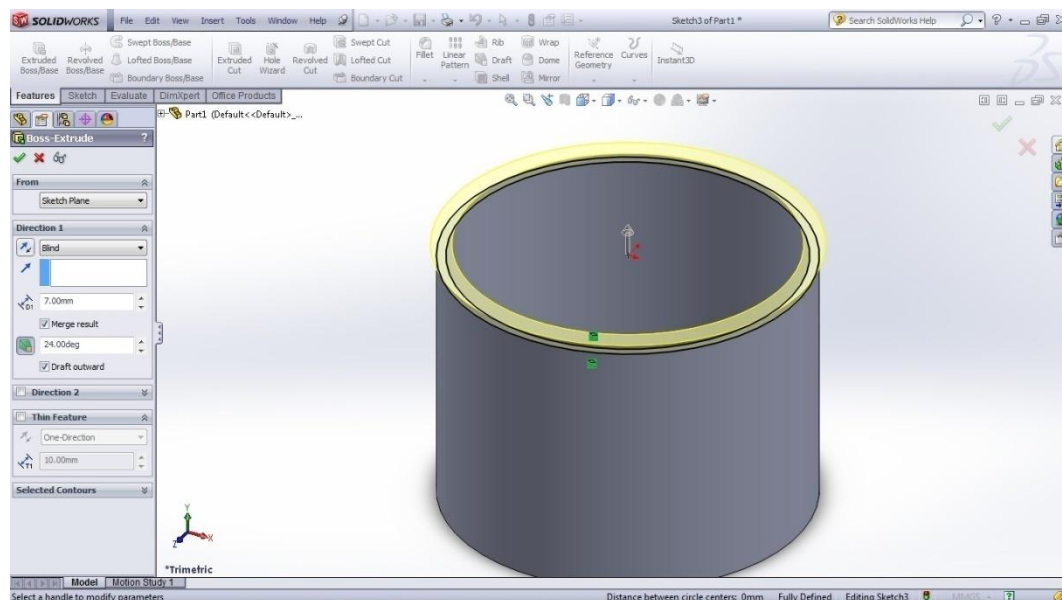
Gambar 3.27. Mendesain 3D untuk *inner cooking pan*

Kemudian klik menu *Toolbar Features* pilih *Shell* klik face yang akan di buat ruang dengan ketebalan lingkaran 5 mm yang di masukkan pada *DI parameters* dan klik ok seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.28 dibawah ini.



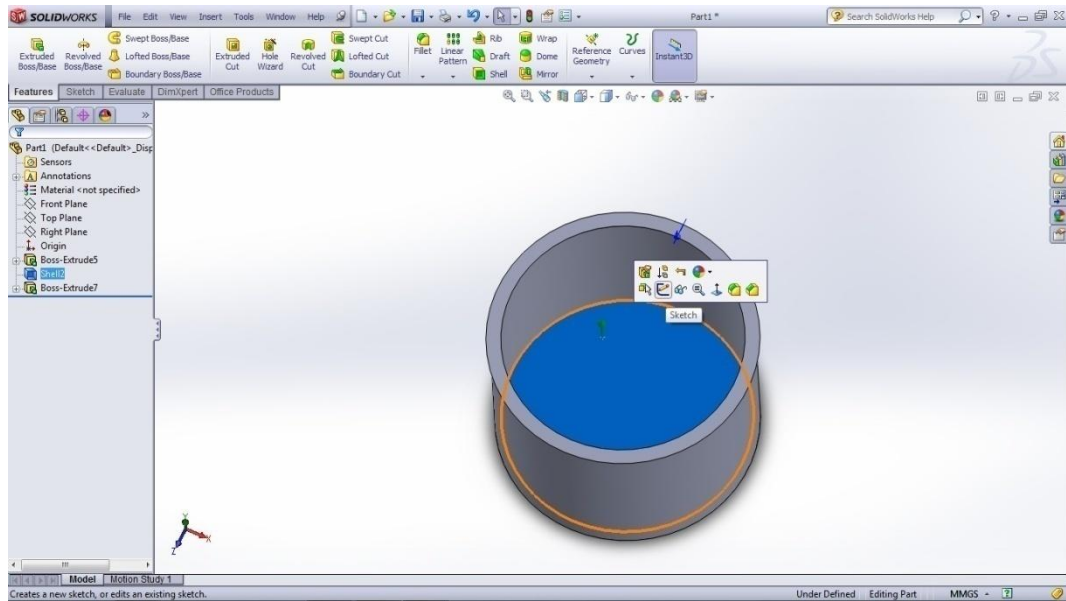
Gambar 3.28. Mendesain ruang pada *inner cooking pan* dengan *Shell*

Selanjutnya pilih face yang ingin diberikan ruang klik *Sketch* kemudian klik diameter lingkaran luar, tekan ctrl tahan dan klik lagi pada bagian lingkaran *shell2* seterusnya ke menu *Toolbar* klik *Convert Entities* kemudian ke menu *Toolbar Features* klik *Extruded Boss/Base* untuk membuat gambar 3D diameter atas *inner cooking* pandan masukkan nilai pada *Depth* 7 mm dan *Draft* 24 deg dan ceklis *Merge Result* dan *Draft Outward* kemudian klik ok seperti gambar 3.29 dibawah ini.

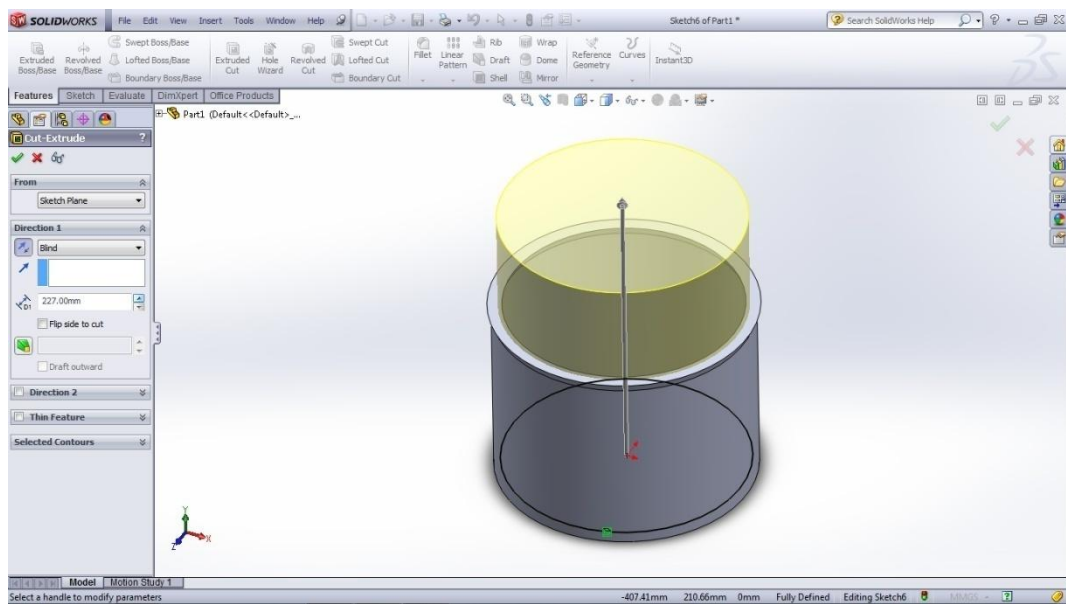


Gambar 3.29. Mendesain lingkaran bagian atas *inner cooking pan*

Untuk membuat ruang di dalam *inner cooking pan* jadi lebih realistis klik face bagian dasar dari dalam ruang *inner cooking pan* dengan memutar pandangan orientasi kebawah klik *skacth* klik lingkaran luar *shell2*, kemudian ke menu *Toolbar* klik *Convert Entities* yang di perlihatkan pada gambar 3.30. Selanjutnya ke menu *Toolbar Features* klik *Extruded cut* klik *Blind* dan buat *Depth* melewati tinggi *inner cooking pan* dan klik ok yang terlihat pada gambar 3.31.

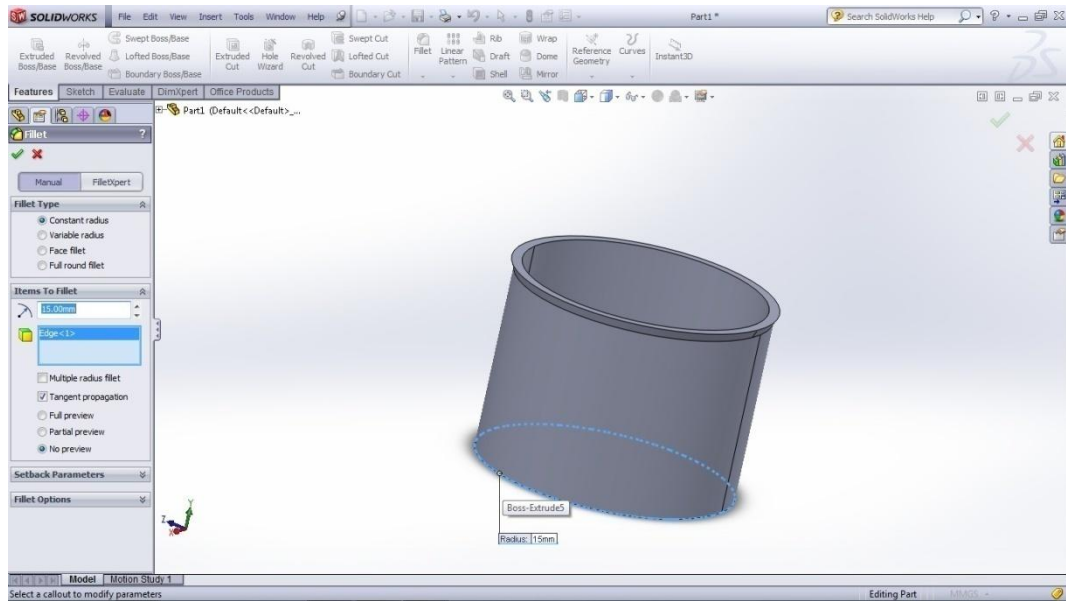


Gambar 3.30. Sketsa 3D untuk ruang *inner cooking pan*



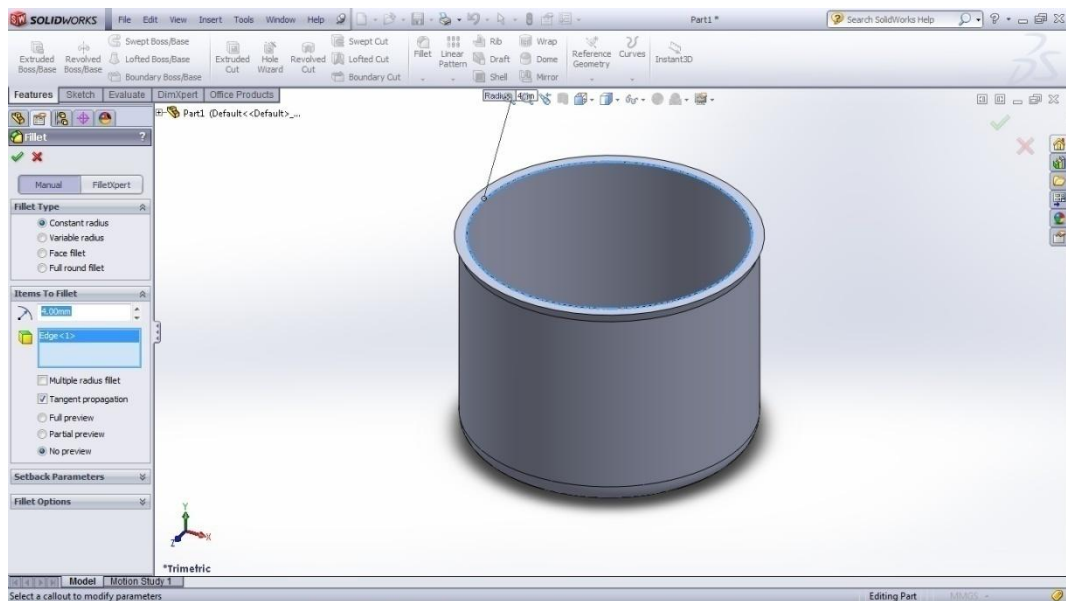
Gambar 3.31. Sketsa 3D *Extruded cut* pada *inner cooking pan*

Kemudian pemberian fillet pada lingkaran luar bawah inner cooking pan dengan cara ke menu Tollbar Features klik *fillet* dan masukkan nilai radiusnya sebesar 10 mm klik face yang ingin di *fillet* dan klik ok seperti pada gambar 3.32.

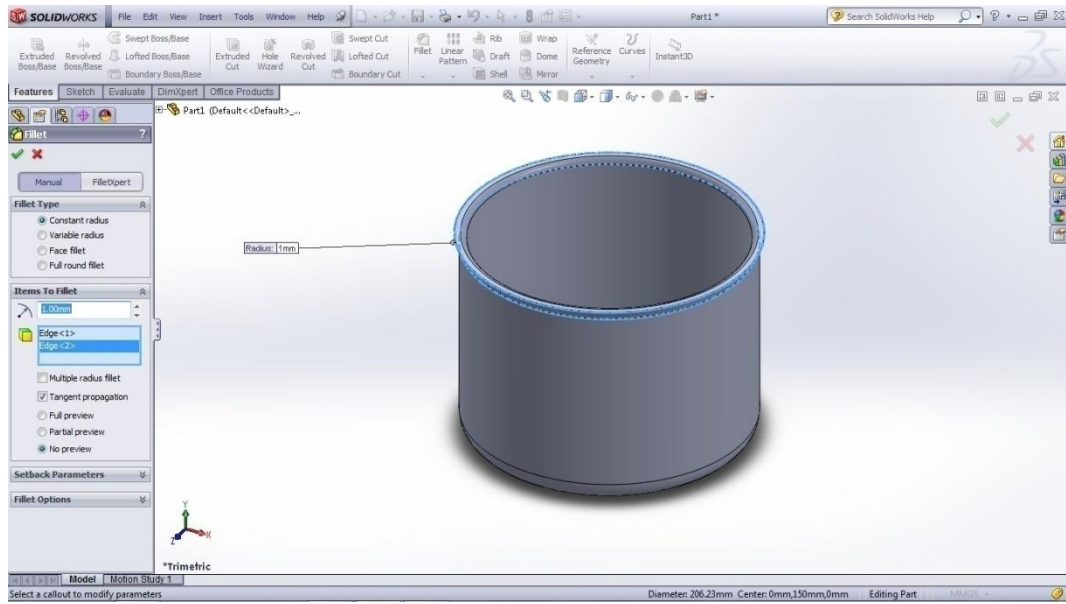


Gambar 3.32. Sketsa 3D desain fillet bagian bawah *inner cooking pan*

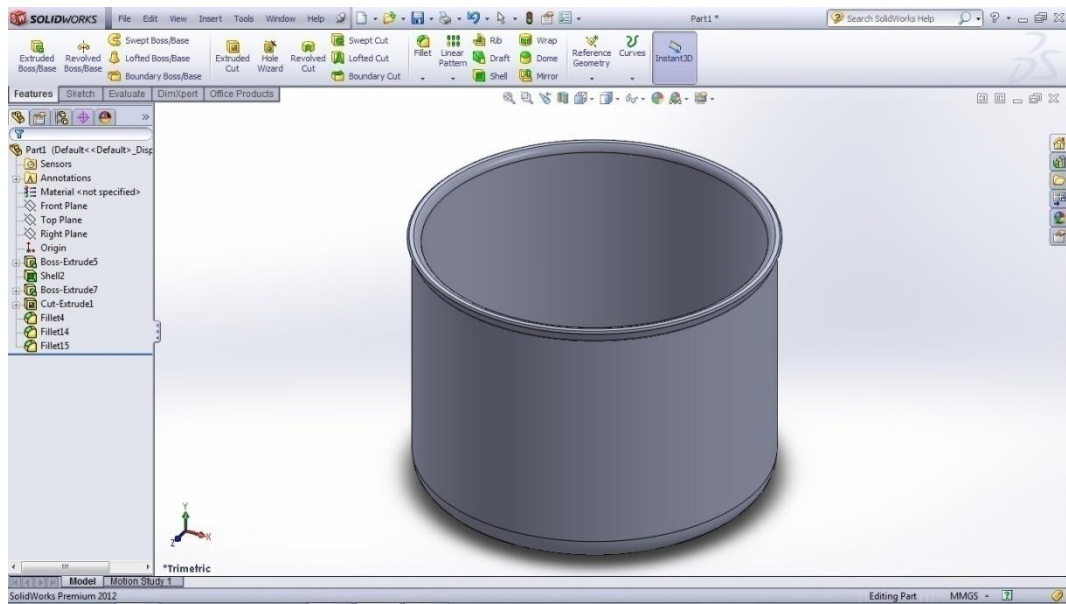
Langkah terakhir untuk pendesainan *inner cooking pan* adalah memberikan *fillet* pada semua bagian atas *inner cooking* dengan cara klik *fillet* kemudian masukkan nilai 4 mm pada radiusnya, klik Edge1 yang ingin di *fillet* pada gambar 3.33 dan pada Edge2 dan Edge3 pada gambar 3.34 masukkan sebesar 1 mm klik ok.



Gambar 3.33. Sketsa 3D desain *fillet* bagian atas *inner cooking pan*



Gambar 3.34. Sketsa 3D desain fillet bagian atas *inner cooking pan*



Gambar 3.35. Sketsa 3D utuh dari *inner cooking pan*

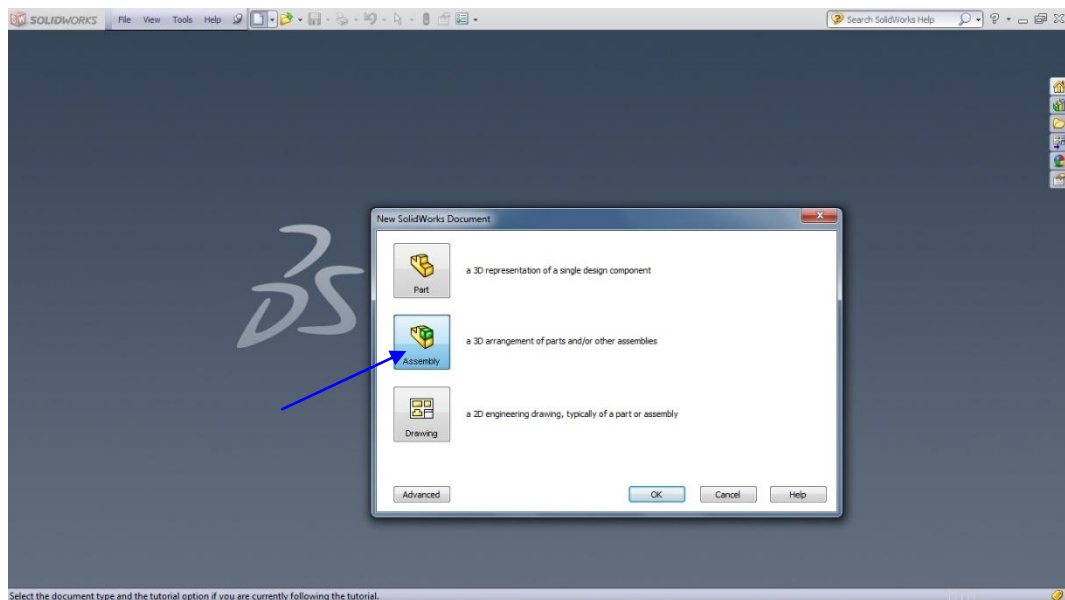
3.8 Melakukan Proses Assembly

Pada tahapan ini, komponen yang telah dibuat selanjutnya digabungkan menjadi satu bagian yang utuh agar dapat di simulasikan.

Langkah – langkah *Assembly* sebagai berikut ini :

1. Pembuatan Gambar Baru

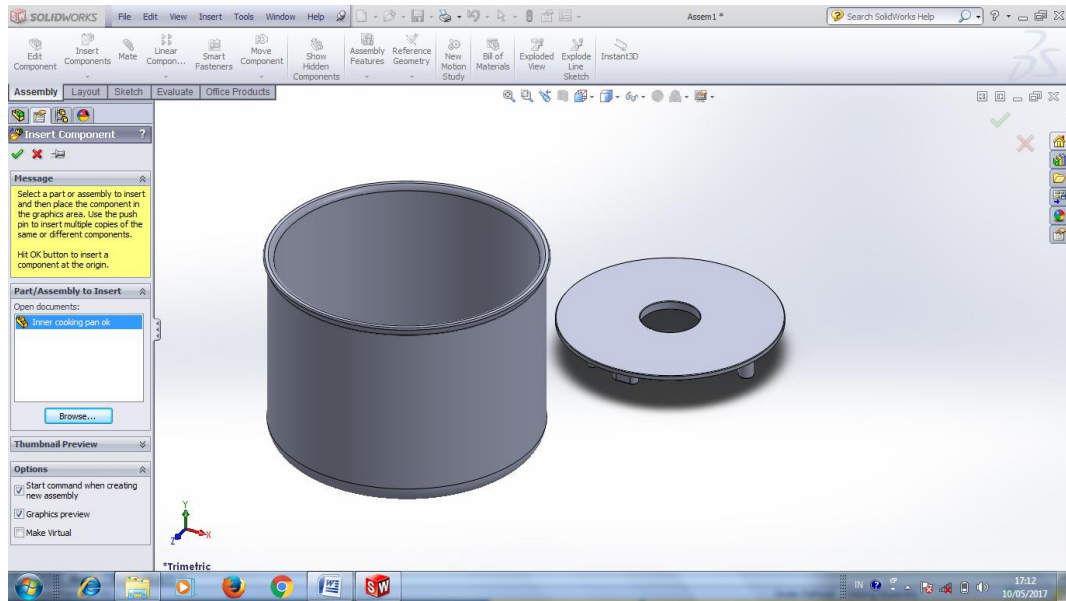
Masuk kemenu awal *solidworks* dan pilih *New* lalu pilih menu *Assembly* (di tunjukkan pada panah biru dalam gambar 3.36).



Gambar 3.36. Menu awal proses *solidworks assembly*

2. Memasukan Gambar

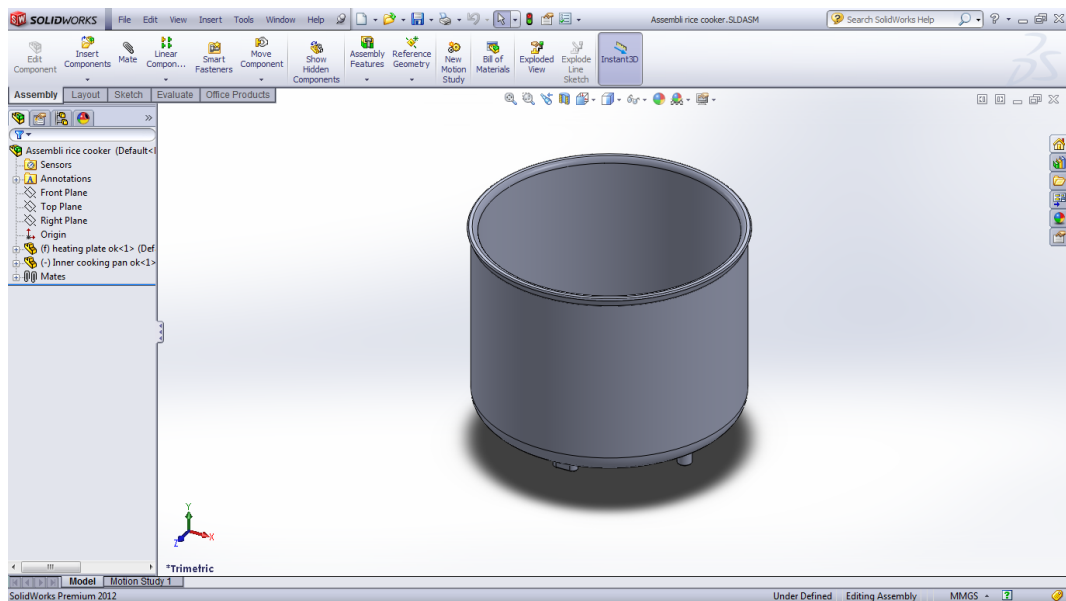
Klik *Insert Components* maka akan terlihat menu *Toolbar* dan masukkan komponen – komponen yang telah di buat, yang tampak pada gambar 3.37.



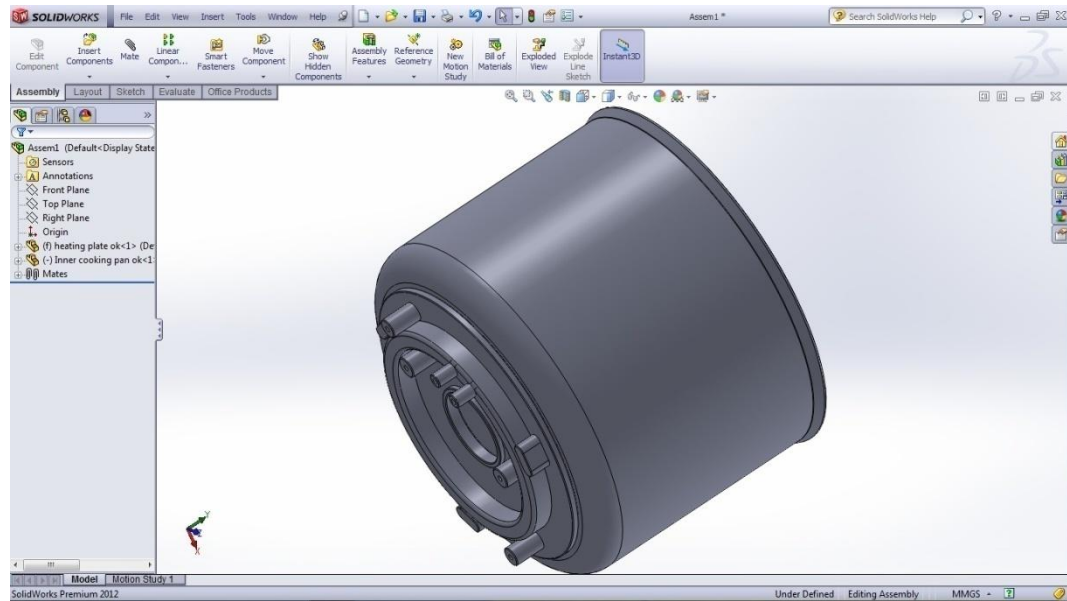
Gambar 3.37. Memasukan komponen- komponen gambar

3. Menggabungkan Komponen Menjadi Satu

Klik *face* bagian luar heating plate dan klik *face* bagian luar *inner cooking pan* kemudian pilih *concentric* pada pengaturan *mate*. Seperti gambar 3.38 dan 3.39.



Gambar 3.38. Penggabungan komponen melalui *solidworks assembly*



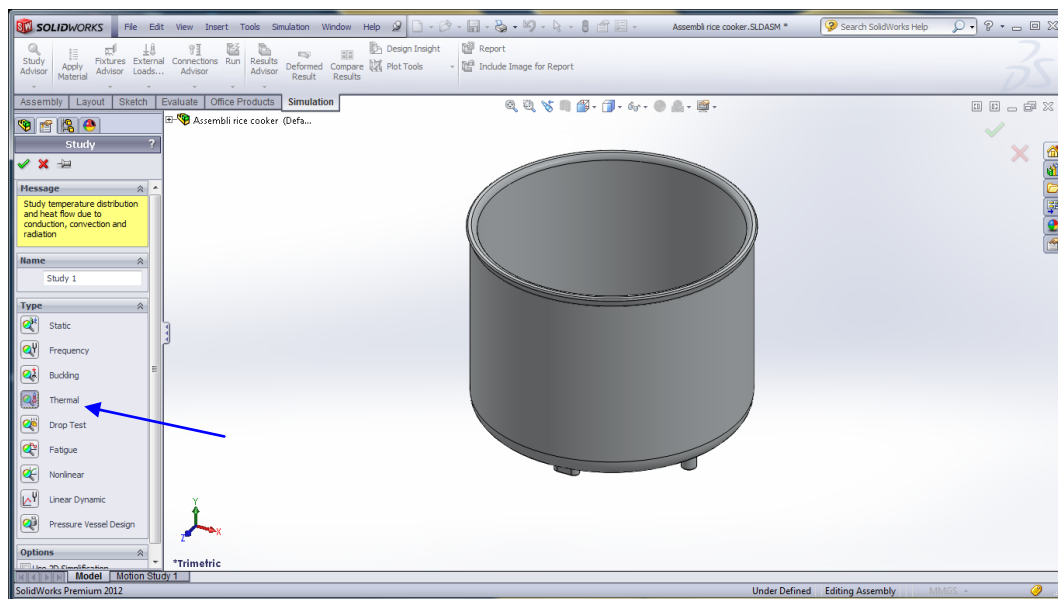
Gambar 3.39. Penggabungan komponen dari sisi pandangan bawah

3.9 Proses Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi atau tahap analisa distribusi temperature yang terjadi pada ruang *inner cooking pan* dengan *Software Solidworks*, dari Tabel 3.1 adalah data input yang nantinya akan di masukan ke dalam program *solidworks simulation* yang di dapat dari data spesifikasi *heating plate* dan spesifikasi ruang *inner cooking pan* dengan material aluminium. Langkah – langkah awal proses simulasi ini adalah klik *File* hasil *Assembly*, kemudian klik ok. Setelah itu masuk ke menu *Toolbar Office Products* pilih *Solidworks Simulations* serta pilih *New Study* dan pilih *thermal*. Yang di perlihatkan pada gambar 3.40.

Tabel 3.1 Data input dalam proses simulasi

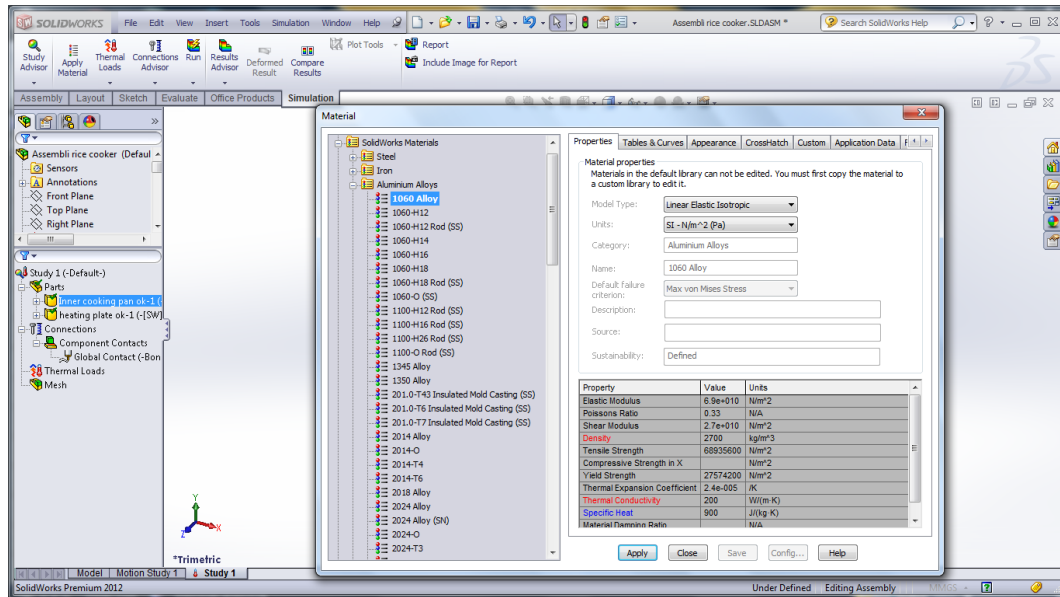
Spesifikasi	Keterangan
Bahan : a. Heating plate b. Inner cooking pan Heat power pemanas Konduktivitas thermal bahan Al 1060 alloy Koefisien perpindahan panas konveksi Temperatur lingkungan (T_{∞})	Aluminium 3003-O Aluminium 1060 Alloy 400 Watt $193 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ $4,5 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 30°C



Gambar 3.40. Langkah awal dalam proses simulasi

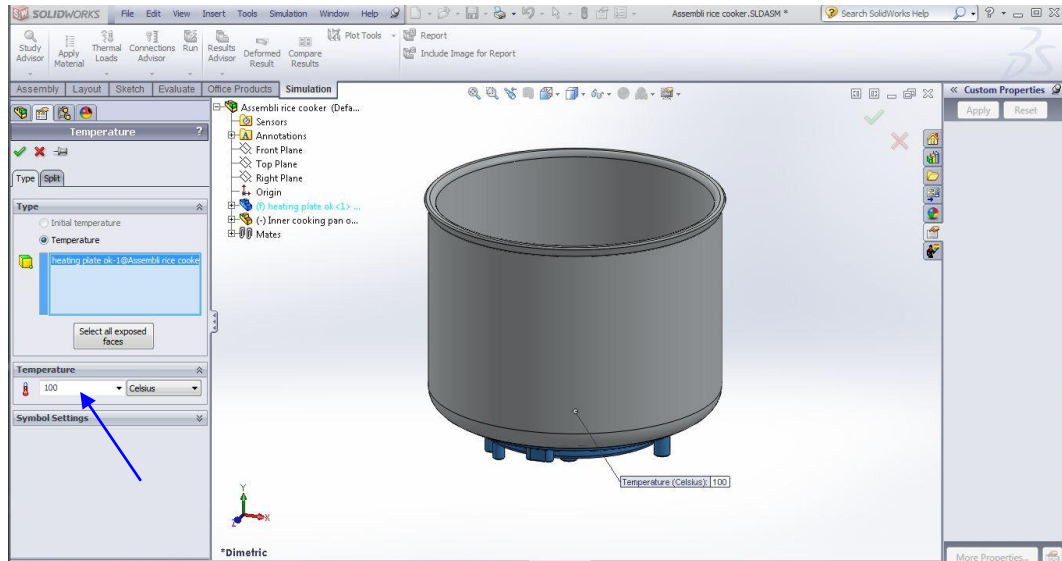
3.9.1 Memilih/ Menentukan material dan dan memasukkan data

Berfungsi untuk menentukan bahan pada setiap komponen untuk dianalisa dengan cara klik kanan pada komponen dan pilih apply/edit material. Pada part inner cooking pan menggunakan bahan aluminium 3003-O dan pada heating plate menggunakan bahan aluminium 1060-H18. Yang di perhatikan pada gambar 3.41.

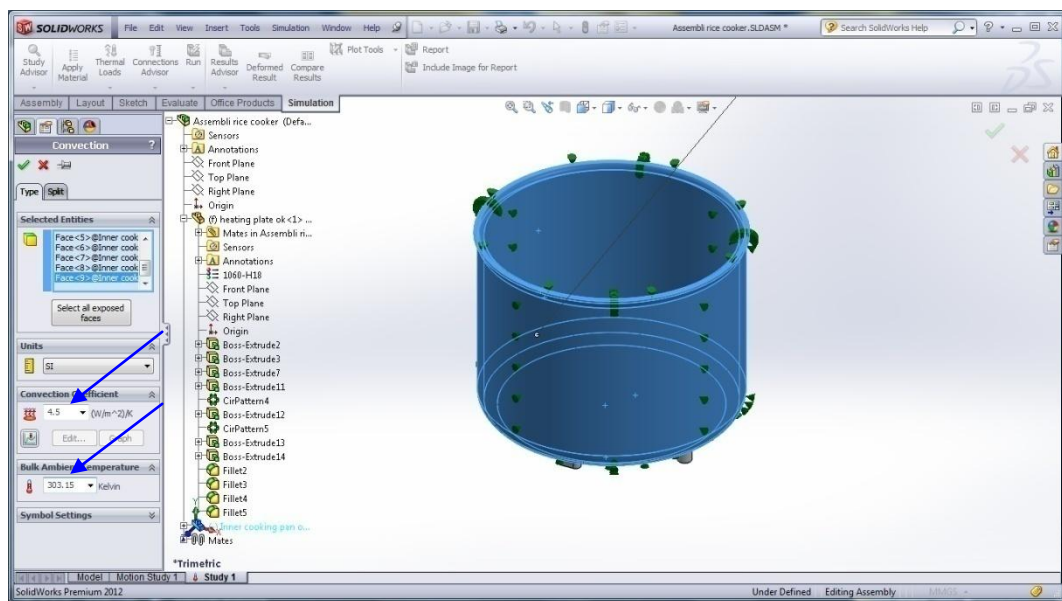


Gambar 3.41. Menentukan material pada komponen

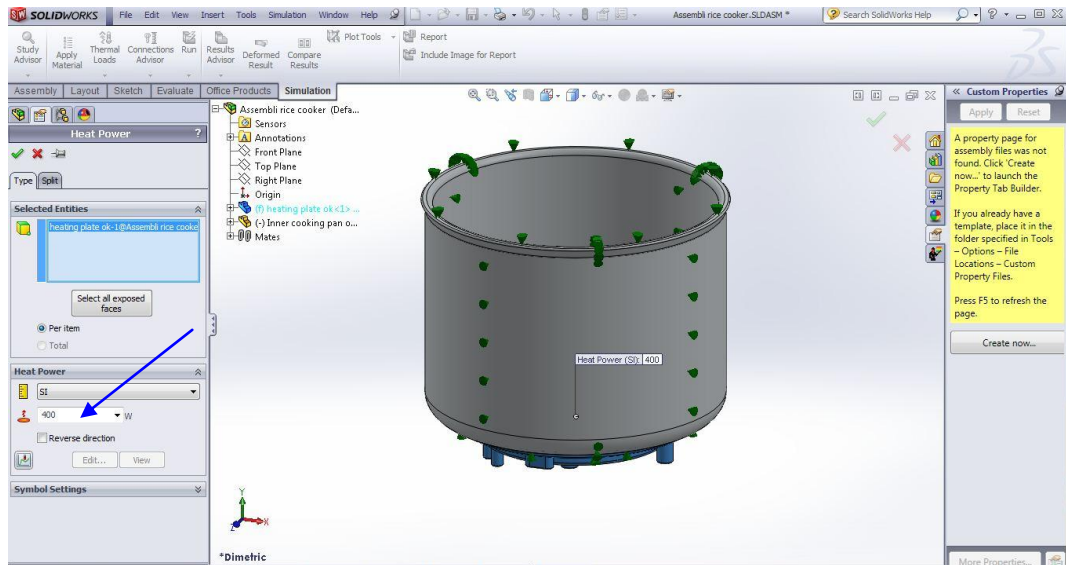
Setelah memilih material langkah selanjutnya adalah memasukkan data temperatur/menentukan titik suhu pada *heating plate* dengan cara klik *thermal loads* dan pilih *temperature*. Langkah selanjutnya memasukkan data koefisien perpindahan panas pada *inner cooking pan* 4,5 W /m .^oC dengan temperatur lingkungan 30^oC dan memasukkan nilai *heat power* pada *heating plate* sebesar 400 Watt. Yang di perlihatkan pada gambar 3.42, gambar 3.43, dan gambar 3.44.



Gambar 3.42. Proses memasukkan suhu pada material



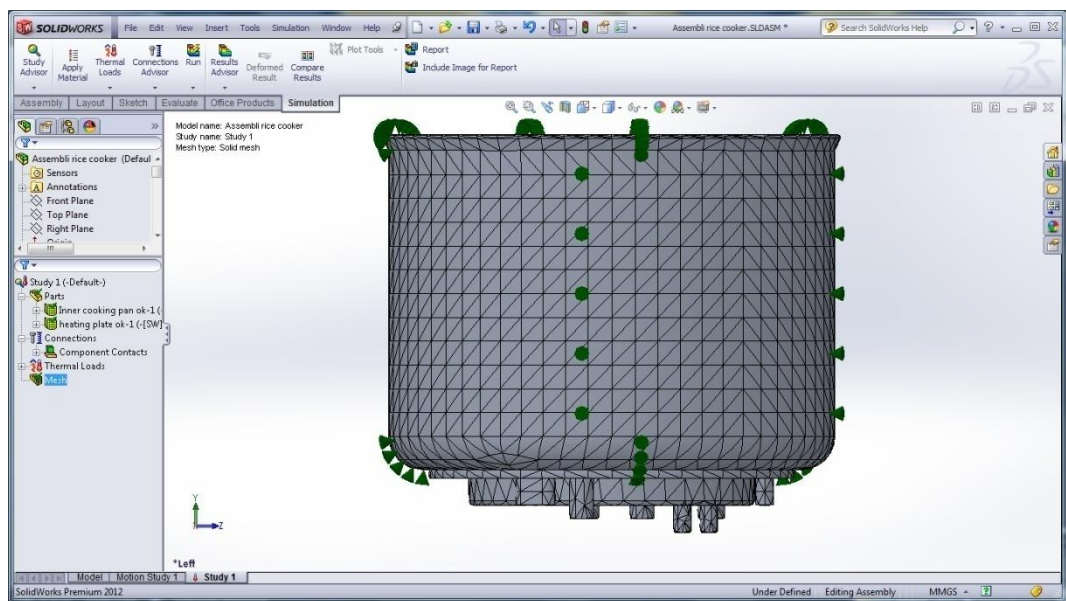
Gambar 3.43. Proses memasukkan data koefisien perpindahan panas konveksi



Gambar 3.44. Proses memasukkan data *heat power* pada *heating plate*

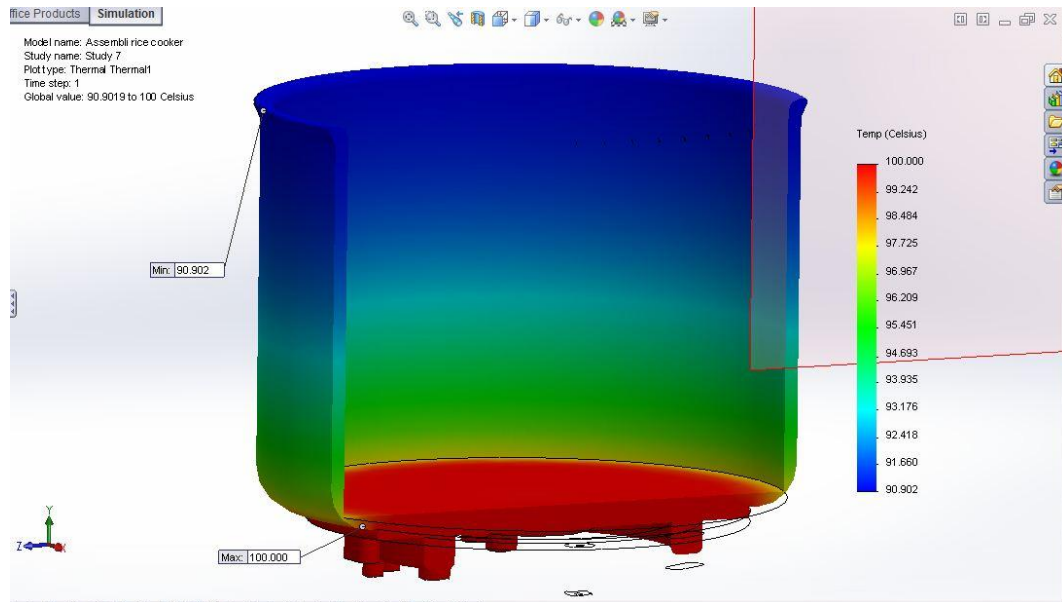
3.9.2 Simulasi

Pada tahapan ini ialah melakukan proses simulasi pada material *heating plate* dan *inner cooking pan*. Setelah memasukkan data suhu/*temperature* klik ok dan pilih *Create mesh* sampai proses *mesh* selesai dan pilih *Run* untuk proses *thermal simulation*.



Gambar 3.45. Hasil *mesh* pada *heating plate* dan *inner cooking pan*

Setelah di lakukan proses simulasi atau *mesh* maka akan mendapatkan hasil seperti pada gambar 3.46.



Gambar 3.46. Hasil simulasi pada *heating plate* dan *inner cooking pan*

BAB 4

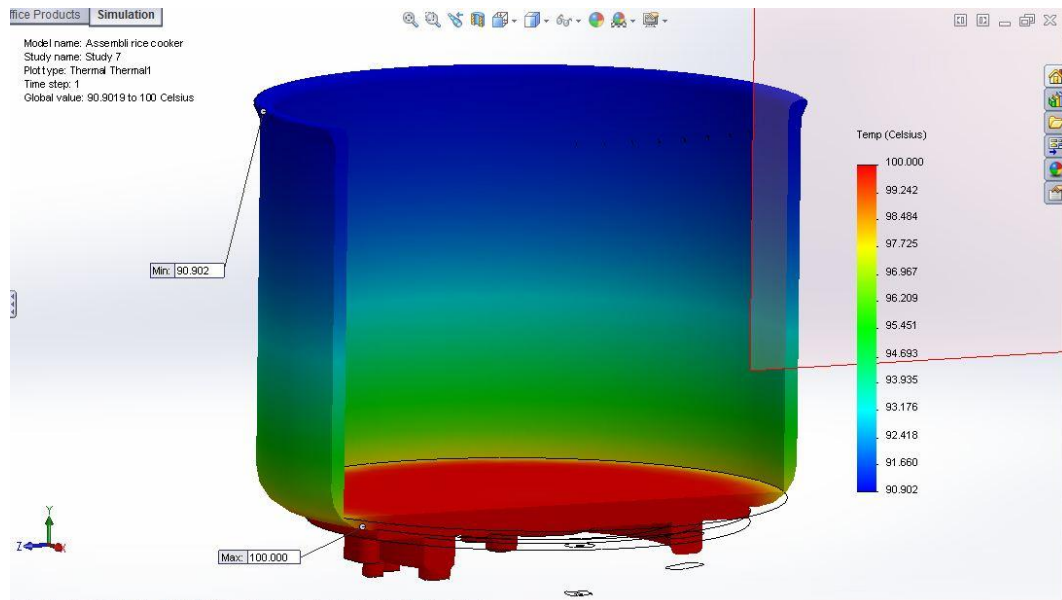
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi

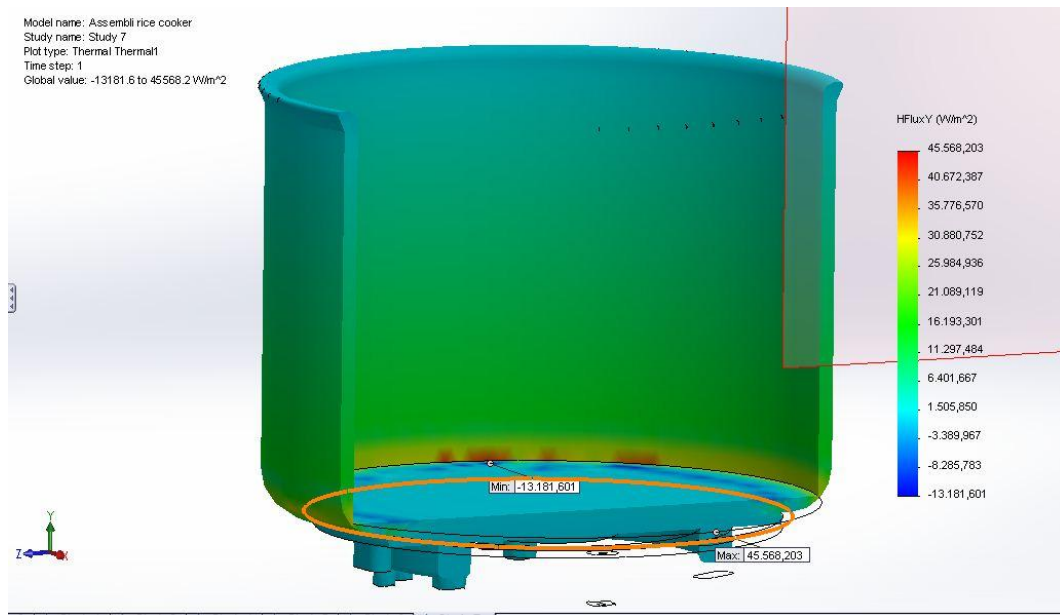
Adapun hasil dari simulasi perpindahan panas pada *inner cooking pan* melalui *heating plate* distribusi temperatur dan *heat flux* ialah sebagai berikut :

1. Variasi Temperatur 100°C

Adapun distribusi dan *heat flux* di tampilkan pada gambar dibawah ini :



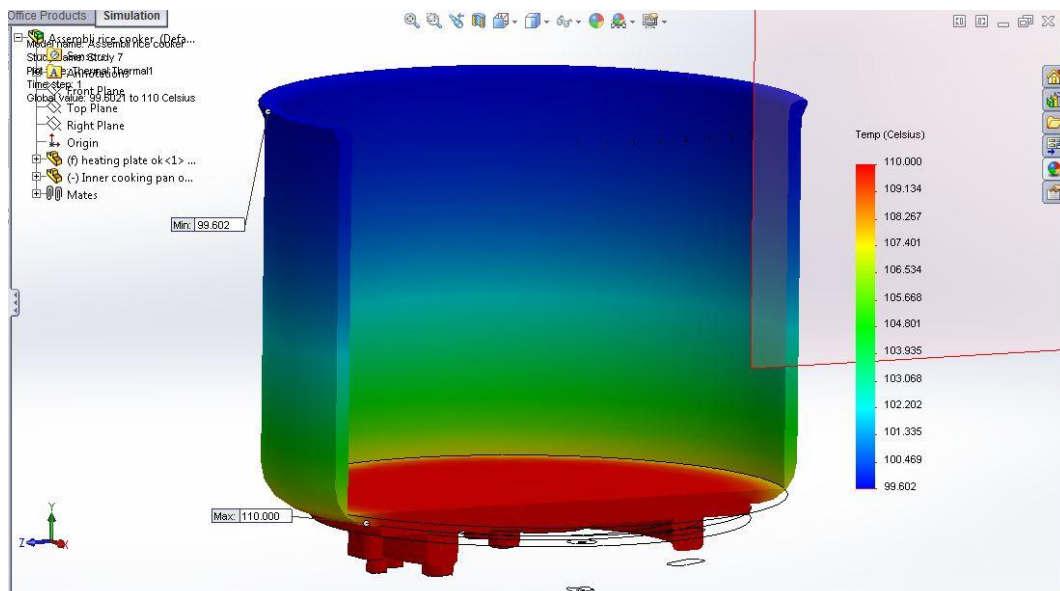
Gambar 4.1. Distribusi temperatur pada suhu 100°C



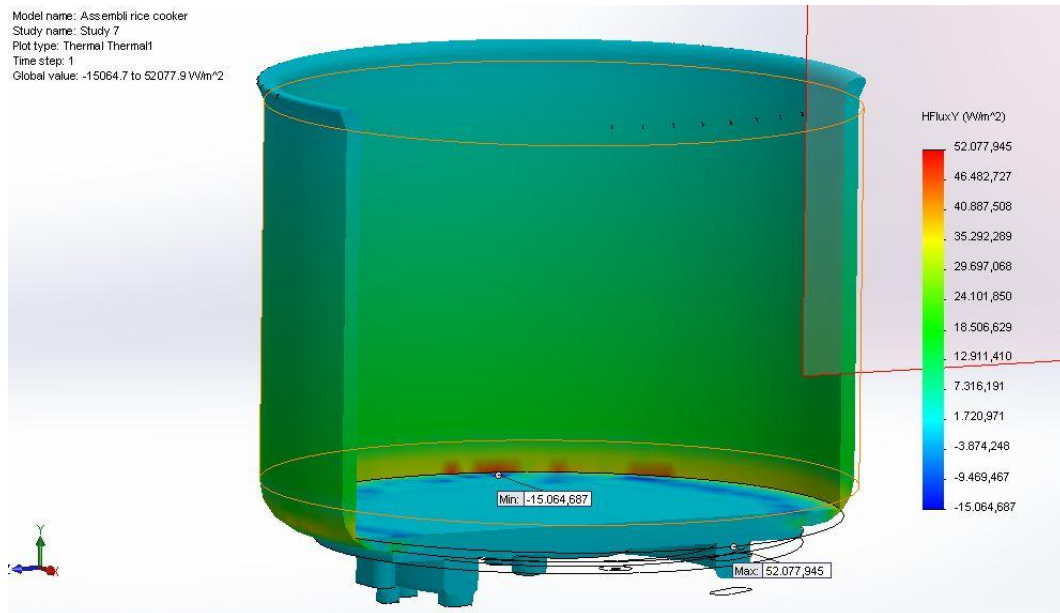
Gambar 4.2. Heat flux yang didapat dari temperatur 100 °C

2. Variasi Temperatur 110°C

Adapun distribusi dan *heat flux* ditampilkan pada gambar dibawah ini :



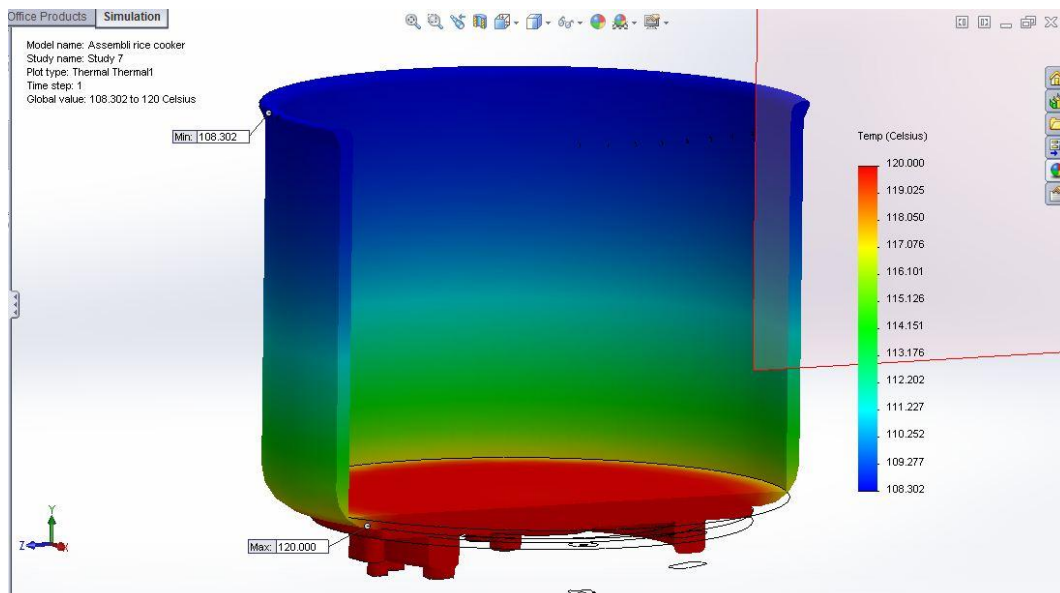
Gambar 4.3. Distribusi temperatur pada suhu 110°C



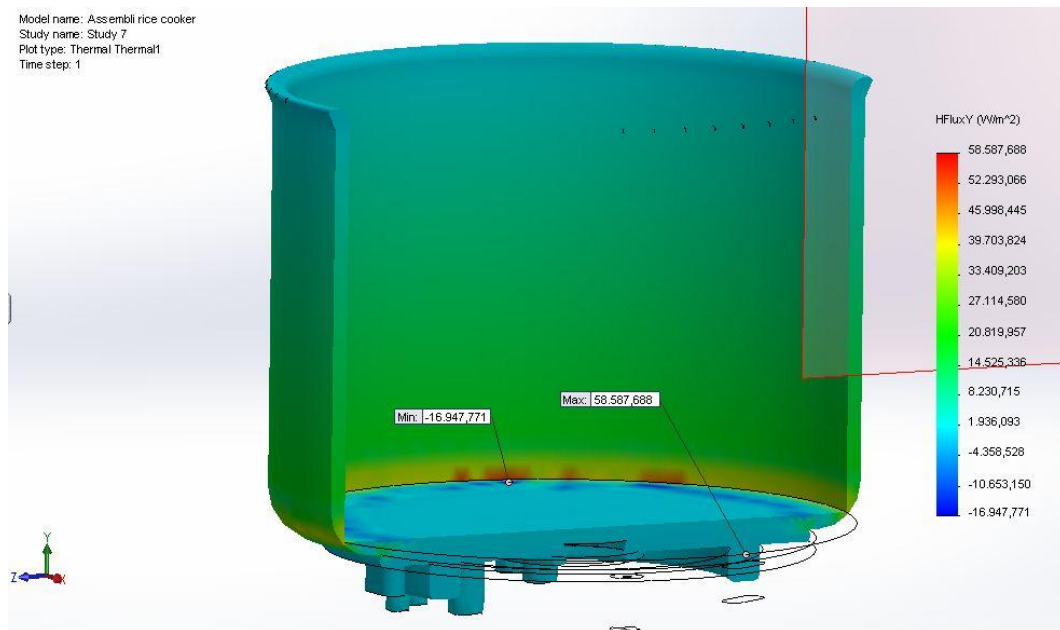
Gambar 4.4. *Heat flux* yang didapat dari temperatur 110 °C

3. Variasi Temperatur 120°C

Adapun distribusi dan *heat flux* ditampilkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.5. Distribusi temperatur pada suhu 120°C



Gambar 4.6. *Heat flux* yang didapat dari temperatur 120 °C

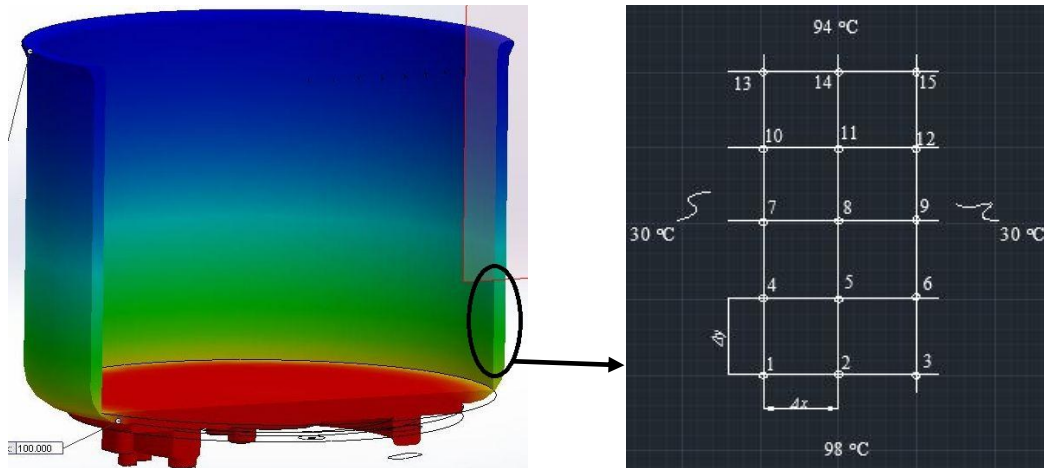
4.2 Pembahasan

Adapun yang akan dibahas ialah hasil simulasi dengan perhitungan distribusi temperatur dan *heat flux* dengan menggunakan rumus metode analisa numerik.

4.2.1 Perhitungan Distribusi Temperatur Dengan Menggunakan Rumus Metode Analisa Numerik.

1. Perhitungan distribusi temperatur pada variasi 100°C

Untuk perhitungan ini dibuat penempatan dan perumpamaan nomenklatur sebagai berikut agar lebih mudah di kerjakan:



Gambar 4.7. Penempatan nomenklatur pada variasi temperatur 100°C

Diketahui :

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) = 4,5 W/m²°C

Konduktivitas thermal bahan aluminium 3003-O (k) = 193 W/m°C

Jarak antara titik (Δx dan Δy) = 2 mm

Maka,

Node 1

$$T_1 = \frac{\left(\frac{T_2 + T_4}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_1 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_4 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_1 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_4 + 0,0014}{1}$$

$$-T_1 + 0,5T_2 + 0,5T_4 = -0,0014$$

Node 2

$$T_2 = \frac{(T_3 + T_5 + 98 + T_1)}{4}$$

$$T_1 - 4T_2 + T_3 + T_5 = -98$$

Node 3

$$T_3 = \frac{\left(\frac{T_2 + T_6}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_3 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_6 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_3 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_6 + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_2 - T_3 + 0,5T_6 = -0,0014$$

Node 4

$$T_4 = \frac{T_5 + \left(\frac{T_1 + T_7}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_4 = \frac{T_5 + 0,5T_1 + 0,5T_7 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_4 = \frac{T_5 + 0,5T_1 + 0,5T_7 + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_1 - 2T_4 + T_5 + 0,5T_6 = -0,0014$$

Node 5

$$T_5 = \frac{(T_6 + T_8 + T_2 + T_4)}{4}$$

$$T_2 + T_4 - 4T_5 + T_6 + T_8 = 0$$

Node 6

$$T_6 = \frac{T_5 + \left(\frac{T_3 + T_9}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_6 = \frac{T_5 + 0,5T_3 + 0,5T_9 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_6 = \frac{T_5 + 0,5T_3 + 0,5T_9 + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_3 + T_5 - 2T_6 + 0,5T_9 = -0,0014$$

Node 7

$$T_7 = \frac{T_8 + \left(\frac{T_4 + T_{10}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_7 = \frac{T_8 + 0,5T_4 + 0,5T_{10} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_7 = \frac{T_8 + 0,5T_4 + 0,5T_{10} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_4 - 2T_7 + T_8 + 0,5T_{10} = -0,0014$$

Node 8

$$T_8 = \frac{(T_9 + T_{11} + T_5 + T_7)}{4}$$

$$T_5 + T_7 - 4T_8 + T_9 + T_{11} = 0$$

Node 9

$$T_9 = \frac{T_8 + \left(\frac{T_6 + T_{12}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_9 = \frac{T_8 + 0,5T_6 + 0,5T_{12} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_9 = \frac{T_8 + 0,5T_6 + 0,5T_{12} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_6 + T_8 - 2T_9 + 0,5T_{12} = -0,0014$$

Node 10

$$T_{10} = \frac{T_{11} + \left(\frac{T_7 + T_{13}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{10} = \frac{T_{11} + 0,5T_7 + 0,5T_{13} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{10} = \frac{T_{11} + 0,5T_7 + 0,5T_{13} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_7 - 2T_{10} + T_{11} + 0,5T_{13} = -0,0014$$

Node 11

$$T_{11} = \frac{(T_{12} + T_{14} + T_8 + T_{10})}{4}$$

$$T_8 + T_{10} - 4T_{11} + T_{12} + T_{14} = 0$$

Node 12

$$T_{12} = \frac{T_{11} + \left(\frac{T_9 + T_{15}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{12} = \frac{T_{11} + 0,5T_9 + 0,5T_{15} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{12} = \frac{T_{11} + 0,5T_9 + 0,5T_{15} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_9 + T_{11} - 2T_{12} + 0,5T_{15} = -0,0014$$

Node 13

$$T_{13} = \frac{\left(\frac{T_{10} + T_{14}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{13} = \frac{0,5T_{10} + 0,5T_{14} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{13} = \frac{0,5T_{10} + 0,5T_{14} + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_{10} - T_{13} + 0,5T_{14} = -0,0014$$

Node 14

$$T_{14} = \frac{(T_{15} + 94 + T_{11} + T_{13})}{4}$$

$$T_{11} + T_{13} - 4T_{14} + T_{15} = -94$$

Node 15

$$T_{15} = \frac{\left(\frac{T_{12} + T_{14}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_{\infty}}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{15} = \frac{0,5T_{12} + 0,5T_{14} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{15} = \frac{0,5T_{12} + 0,5T_{14} + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_{12} + 0,5T_{14} - T_{15} = -0,0014$$

Maka disusunlah semua persamaan node menjadi matriks agar bisa di invers dan mendapatkan nilai T_1 sampai T_{15} .

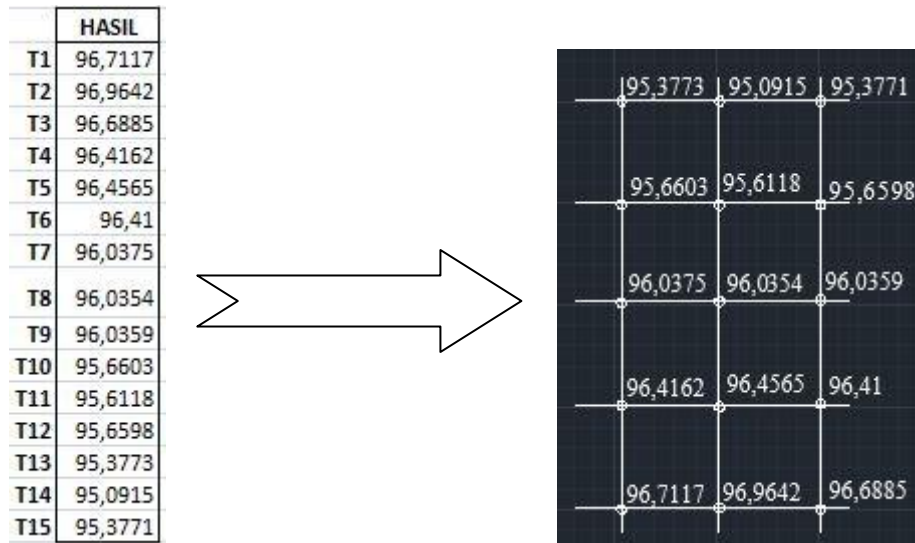
Tabel. 4.1. Susunan node matriks dengan excel pada variasi temperatur 100°C

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
T1	-1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	1	-4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0,5	-1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5	0	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	1	0	1	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	-1	0,5	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	1
T15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,5	-1

Tabel 4.2. Perkalian hasil invers dari matriks dengan besaran nilai persamaan pada variasi temperatur 100 °C

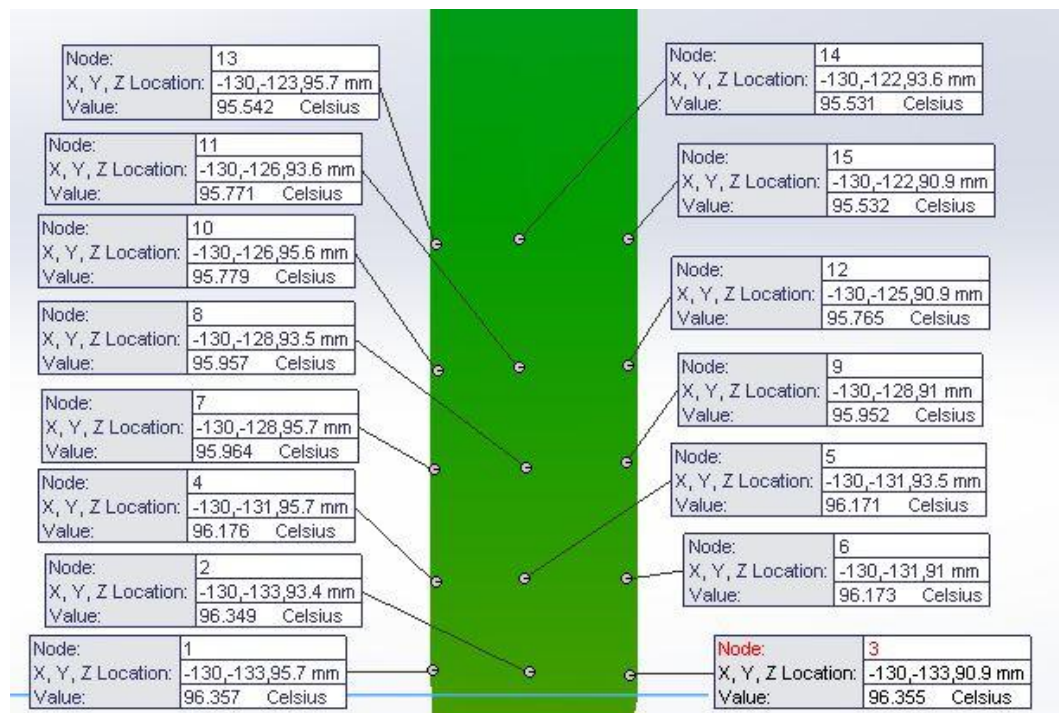
		INVERS																
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
T1	-2,04	-0,6747	-1,201	-0,731	-1,078	-1,053	-0,7679	-0,833	-0,855	-0,674	-0,633	-0,699	-0,662	-0,3253	-0,675	T1	-0,0014	
T2	-1,027	-0,7385	-1,186	-0,577	-0,8476	-0,895	-0,6126	-0,667	-0,698	-0,54	-0,508	-0,565	-0,532	-0,2615	-0,544	T2	-98	
T3	-1,015	-0,6687	-2,326	-0,6919	-1,0042	-1,316	-0,7593	-0,833	-0,927	-0,679	-0,643	-0,727	-0,671	-0,3313	-0,695	T3	-0,0014	
T4	-1,277	-0,6004	-1,165	-1,3535	-1,1806	-1,13	-1,0527	-1	-0,992	-0,857	-0,774	-0,84	-0,828	-0,3996	-0,82	T4	-0,0014	
T5	-1,053	-0,6108	-1,216	-0,885	-1,3083	-1,211	-0,9232	-1	-1,011	-0,808	-0,757	-0,833	-0,793	-0,3892	-0,806	T5	0	
T6	-1,002	-0,5989	-1,467	-0,8069	-1,1608	-1,736	-0,9061	-1	-1,156	-0,817	-0,777	-0,889	-0,81	-0,4011	-0,846	T6	-0,0014	
T7	-0,962	-0,5056	-1,028	-0,9129	-1,0276	-1,044	-1,5965	-1,167	-1,093	-1,14	-0,949	-0,996	-1,064	-0,4944	-0,992	T7	-0,0014	
T8	-0,907	-0,5053	-1,047	-0,8025	-1,0444	-1,083	-1,1214	-1,333	-1,197	-1,016	-0,971	-1,038	-1,003	-0,4947	-1,014	X	T8	0
T9	-0,888	-0,5052	-1,109	-0,7658	-1,0222	-1,207	-1,0186	-1,167	-1,676	-0,975	-0,95	-1,163	-0,982	-0,4948	-1,076	T9	-0,0014	
T10	-0,758	-0,4114	-0,851	-0,6931	-0,8409	-0,88	-1,0906	-1	-0,987	-1,669	-1,082	-1,068	-1,423	-0,5886	-1,123	T10	-0,0014	
T11	-0,723	-0,3996	-0,835	-0,6465	-0,8194	-0,87	-0,9473	-1	-1,008	-1,143	-1,226	-1,16	-1,172	-0,6004	-1,18	T11	0	
T12	-0,737	-0,4113	-0,875	-0,651	-0,8393	-0,927	-0,9254	-1	-1,154	-1,051	-1,082	-1,687	-1,114	-0,5887	-1,432	T12	-0,0014	
T13	-0,624	-0,3408	-0,709	-0,5663	-0,697	-0,736	-0,8712	-0,833	-0,84	-1,252	-0,925	-0,957	-2,285	-0,6592	-1,138	T13	-0,0014	
T14	-0,49	-0,2703	-0,566	-0,4395	-0,5532	-0,591	-0,6518	-0,667	-0,693	-0,834	-0,769	-0,846	-1,147	-0,7297	-1,153	T14	-94	
T15	-0,613	-0,3408	-0,72	-0,5453	-0,6963	-0,759	-0,7886	-0,833	-0,923	-0,942	-0,925	-1,267	-1,13	-0,6592	-2,293	T15	-0,0014	

Kemudian hasil dari perkalian invers matriks dengan nilai besaran persamaan tiap node di perlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.8 Hasil dan penempatan pada tiap-tiap temperatur

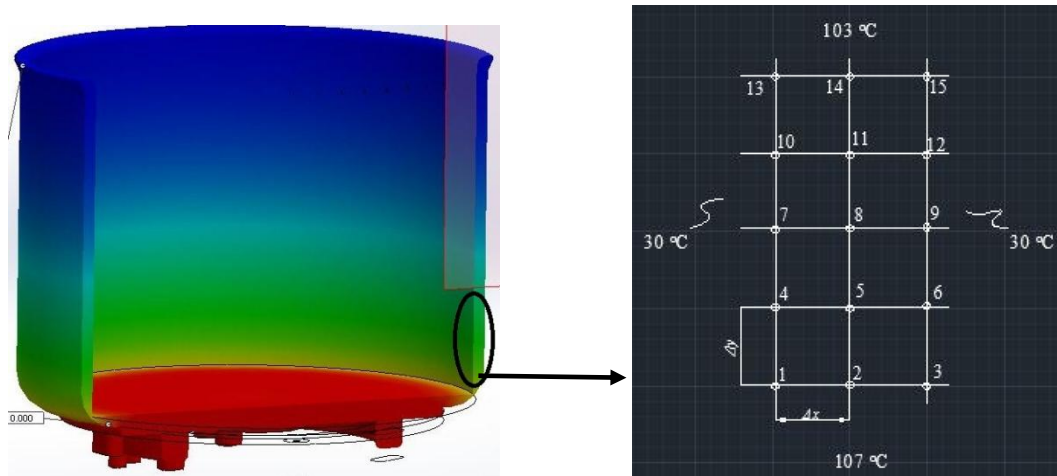
Sedangkan untuk node-node temperatur pada simulasi di perlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.9 Hasil node- node pada simulasi *Solidwork* variasi 100°C

2. Perhitungan distribusi temperatur pada variasi 110°C

Untuk perhitungan ini dibuat perumpamaan penempatan nomenklatur sebagai berikut:



Gambar 4.10. Penempatan nomenklatur pada variasi temperatur 110°C

Diketahui :

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) = $4,5 \text{ W/m}^2\text{C}$

Konduktivitas thermal bahan aluminium 3003-O (k) = $193 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Jarak antara titik (Δx dan Δy) = 2 mm

Maka,

Node 1

$$T_1 = \frac{\left(\frac{T_2 + T_4}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_1 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_4 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_1 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_4 + 0,0014}{1}$$

$$-T_1 + 0,5T_2 + 0,5T_4 = -0,0014$$

Node 2

$$T_2 = \frac{(T_3 + T_5 + 107 + T_1)}{4}$$

$$T_1 - 4T_2 + T_3 + T_5 = -107$$

Node 3

$$T_3 = \frac{\left(\frac{T_2 + T_6}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_3 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_6 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_3 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_6 + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_2 - T_3 + 0,5T_6 = -0,0014$$

Node 4

$$T_4 = \frac{T_5 + \left(\frac{T_1 + T_7}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_4 = \frac{T_5 + 0,5T_1 + 0,5T_7 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_4 = \frac{T_5 + 0,5T_1 + 0,5T_7 + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_1 - 2T_4 + T_5 + 0,5T_7 = -0,0014$$

Node 5

$$T_5 = \frac{(T_6 + T_8 + T_2 + T_4)}{4}$$

$$T_2 + T_4 - 4T_5 + T_6 + T_8 = 0$$

Node 6

$$T_6 = \frac{T_5 + \left(\frac{T_3 + T_9}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_6 = \frac{T_5 + 0,5T_3 + 0,5T_9 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_6 = \frac{T_5 + 0,5T_3 + 0,5T_9 + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_3 + T_5 - 2T_6 + 0,5T_9 = -0,0014$$

Node 7

$$T_7 = \frac{T_8 + \left(\frac{T_4 + T_{10}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_7 = \frac{T_8 + 0,5T_4 + 0,5T_{10} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_7 = \frac{T_8 + 0,5T_4 + 0,5T_{10} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_4 - 2T_7 + T_8 + 0,5T_{10} = -0,0014$$

Node 8

$$T_8 = \frac{(T_9 + T_{11} + T_5 + T_7)}{4}$$

$$T_5 + T_7 - 4T_8 + T_9 + T_{11} = 0$$

Node 9

$$T_9 = \frac{T_8 + \left(\frac{T_6 + T_{12}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_9 = \frac{T_8 + 0,5T_6 + 0,5T_{12} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_9 = \frac{T_8 + 0,5T_6 + 0,5T_{12} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_6 + T_8 - 2T_9 + 0,5T_{12} = -0,0014$$

Node 10

$$T_{10} = \frac{T_{11} + \left(\frac{T_7 + T_{13}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{10} = \frac{T_{11} + 0,5T_7 + 0,5T_{13} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{10} = \frac{T_{11} + 0,5T_7 + 0,5T_{13} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_7 - 2T_{10} + T_{11} + 0,5T_{13} = -0,0014$$

Node 11

$$T_{11} = \frac{(T_{12} + T_{14} + T_8 + T_{10})}{4}$$

$$T_8 + T_{10} - 4T_{11} + T_{12} + T_{14} = 0$$

Node 12

$$T_{12} = \frac{T_{11} + \left(\frac{T_9 + T_{15}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{12} = \frac{T_{11} + 0,5T_9 + 0,5T_{15} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{12} = \frac{T_{11} + 0,5T_9 + 0,5T_{15} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_9 + T_{11} - 2T_{12} + 0,5T_{15} = -0,0014$$

Node 13

$$T_{13} = \frac{\left(\frac{T_{10} + T_{14}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_{\infty}}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{13} = \frac{0,5T_{10} + 0,5T_{14} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{13} = \frac{0,5T_{10} + 0,5T_{14} + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_{10} - T_{13} + 0,5T_{14} = -0,0014$$

Node 14

$$T_{14} = \frac{(T_{15} + 103 + T_{11} + T_{13})}{4}$$

$$T_{11} + T_{13} - 4T_{14} + T_{15} = -103$$

Node 15

$$T_{15} = \frac{\left(\frac{T_{12} + T_{14}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_{\infty}}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{15} = \frac{0,5T_{12} + 0,5T_{14} + \frac{4,5 \cdot 0,002 m}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 m}{193}}$$

$$T_{15} = \frac{0,5T_{12} + 0,5T_{14} + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_{12} + 0,5T_{14} - T_{15} = -0,0014$$

Maka disusunlah semua node kedalam matriks untuk di kalkulasikan pada microsoft excel.

Tabel. 4.3. Susunan node matriks dengan excel pada variasi temperatur 110°C

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
T1	-1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	1	-4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0,5	-1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5	0	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	1	0	1	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	-1	0,5	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	1
T15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,5	-1

Tabel 4.4. Perkalian hasil invers dari matriks dengan besaran nilai persamaan pada variasi temperatur 110 °C

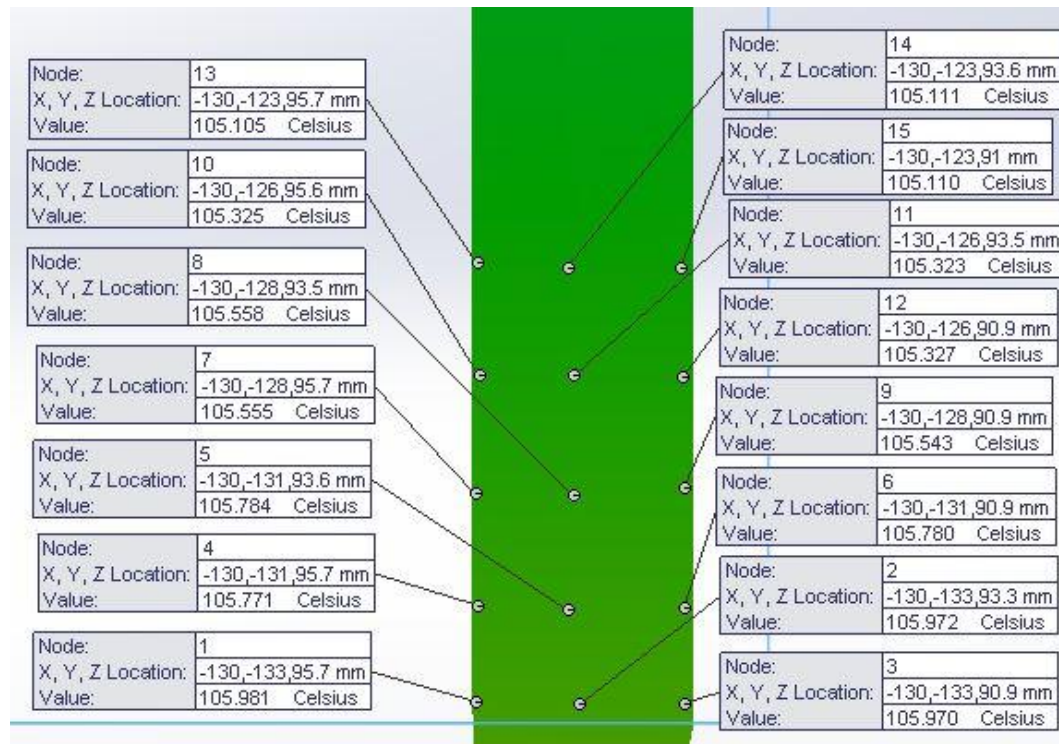
		INVERS																	
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
T1		-2,04	-0,6747	-1,201	-0,731	-1,078	-1,053	-0,7679	-0,833	-0,855	-0,674	-0,633	-0,699	-0,662	-0,3253	-0,675	T1	-0,0014	
T2		-1,027	-0,7385	-1,186	-0,577	-0,8476	-0,895	-0,6126	-0,667	-0,698	-0,54	-0,508	-0,565	-0,532	-0,2615	-0,544	T2	-107	
T3		-1,015	-0,6687	-2,326	-0,6919	-1,0042	-1,316	-0,7593	-0,833	-0,927	-0,679	-0,643	-0,727	-0,671	-0,3313	-0,695	T3	-0,0014	
T4		-1,277	-0,6004	-1,165	-1,3535	-1,1806	-1,13	-1,0527	-1	-0,992	-0,857	-0,774	-0,84	-0,828	-0,3996	-0,82	T4	-0,0014	
T5		-1,053	-0,6108	-1,216	-0,885	-1,3083	-1,211	-0,9232	-1	-1,011	-0,808	-0,757	-0,833	-0,793	-0,3892	-0,806	T5	0	
T6		-1,002	-0,5989	-1,467	-0,8069	-1,1608	-1,736	-0,9061	-1	-1,156	-0,817	-0,777	-0,889	-0,81	-0,4011	-0,846	T6	-0,0014	
T7		-0,962	-0,5056	-1,028	-0,9129	-1,0276	-1,044	-1,5965	-1,167	-1,093	-1,14	-0,949	-0,996	-1,064	-0,4944	-0,992	T7	-0,0014	
T8		-0,907	-0,5053	-1,047	-0,8025	-1,0444	-1,083	-1,1214	-1,333	-1,197	-1,016	-0,971	-1,038	-1,003	-0,4947	-1,014	X	T8	0
T9		-0,888	-0,5052	-1,109	-0,7658	-1,0222	-1,207	-1,0186	-1,167	-1,676	-0,975	-0,95	-1,163	-0,982	-0,4948	-1,076	T9	-0,0014	
T10		-0,758	-0,4114	-0,851	-0,6931	-0,8409	-0,88	-1,0906	-1	-0,987	-1,669	-1,082	-1,068	-1,423	-0,5886	-1,123	T10	-0,0014	
T11		-0,723	-0,3996	-0,835	-0,6465	-0,8194	-0,87	-0,9473	-1	-1,008	-1,143	-1,226	-1,16	-1,172	-0,6004	-1,18	T11	0	
T12		-0,737	-0,4113	-0,875	-0,651	-0,8393	-0,927	-0,9254	-1	-1,154	-1,051	-1,082	-1,687	-1,114	-0,5887	-1,432	T12	-0,0014	
T13		-0,624	-0,3408	-0,709	-0,5663	-0,697	-0,736	-0,8712	-0,833	-0,84	-1,252	-0,925	-0,957	-2,285	-0,6592	-1,138	T13	-0,0014	
T14		-0,49	-0,2703	-0,566	-0,4395	-0,5532	-0,591	-0,6518	-0,667	-0,693	-0,834	-0,769	-0,846	-1,147	-0,7297	-1,153	T14	-103	
T15		-0,613	-0,3408	-0,72	-0,5453	-0,6963	-0,759	-0,7886	-0,833	-0,923	-0,942	-0,925	-1,267	-1,13	-0,6592	-2,293	T15	-0,0014	

Kemudian hasil dari perkalian invers matriks dengan nilai besaran persamaan tiap node di perlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.11 Hasil dan penempatan pada tiap - tiap temperatur

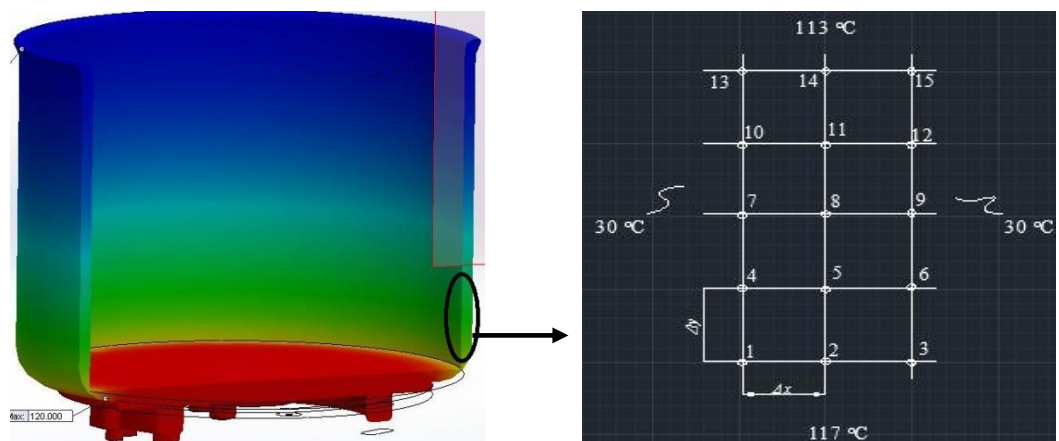
Sedangkan untuk node-node temperatur pada simulasi di perlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.12 Hasil node- node pada simulasi *Solidwork* variasi 110°C

3. Perhitungan distribusi temperatur pada variasi 120°C

Untuk perhitungan ini dibuat perumpamaan nomenklatur sebagai berikut:



Gambar 4.13. Penempatan nomenklatur pada variasi temperatur 120°C

Diketahui :

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) = $4,5 \text{ W/m}^2\text{C}$

Konduktivitas thermal bahan aluminium 3003-O (k) = $193 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Jarak antara titik (Δx dan Δy) = 2 mm

Maka,

Node 1

$$T_1 = \frac{\left(\frac{T_2 + T_4}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_1 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_4 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_1 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_4 + 0,0014}{1}$$

$$-T_1 + 0,5T_2 + 0,5T_4 = -0,0014$$

Node 2

$$T_2 = \frac{(T_3 + T_5 + 117 + T_1)}{4}$$

$$T_1 - 4T_2 + T_3 + T_5 = -117$$

Node 3

$$T_3 = \frac{\left(\frac{T_2 + T_6}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_3 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_6 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_3 = \frac{0,5T_2 + 0,5T_6 + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_2 - T_3 + 0,5T_6 = -0,0014$$

Node 4

$$T_4 = \frac{T_5 + \left(\frac{T_1 + T_7}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_4 = \frac{T_5 + 0,5T_1 + 0,5T_7 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_4 = \frac{T_5 + 0,5T_1 + 0,5T_7 + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_1 - 2T_4 + T_5 + 0,5T_7 = -0,0014$$

Node 5

$$T_5 = \frac{(T_6 + T_8 + T_2 + T_4)}{4}$$

$$T_2 + T_4 - 4T_5 + T_6 + T_8 = 0$$

Node 6

$$T_6 = \frac{T_5 + \left(\frac{T_3 + T_9}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_6 = \frac{T_5 + 0,5T_3 + 0,5T_9 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_6 = \frac{T_5 + 0,5T_3 + 0,5T_9 + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_3 + T_5 - 2T_6 + 0,5T_9 = -0,0014$$

Node 7

$$T_7 = \frac{T_8 + \left(\frac{T_4 + T_{10}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_7 = \frac{T_8 + 0,5T_4 + 0,5T_{10} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_7 = \frac{T_8 + 0,5T_4 + 0,5T_{10} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_4 - 2T_7 + T_8 + 0,5T_{10} = -0,0014$$

Node 8

$$T_8 = \frac{(T_9 + T_{11} + T_5 + T_7)}{4}$$

$$T_5 + T_7 - 4T_8 + T_9 + T_{11} = 0$$

Node 9

$$T_9 = \frac{T_8 + \left(\frac{T_6 + T_{12}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_9 = \frac{T_8 + 0,5T_6 + 0,5T_{12} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_9 = \frac{T_8 + 0,5T_6 + 0,5T_{12} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_6 + T_8 - 2T_9 + 0,5T_{12} = -0,0014$$

Node 10

$$T_{10} = \frac{T_{11} + \left(\frac{T_7 + T_{13}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{10} = \frac{T_{11} + 0,5T_7 + 0,5T_{13} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{10} = \frac{T_{11} + 0,5T_7 + 0,5T_{13} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_7 - 2T_{10} + T_{11} + 0,5T_{13} = -0,0014$$

Node 11

$$T_{11} = \frac{(T_{12} + T_{14} + T_8 + T_{10})}{4}$$

$$T_8 + T_{10} - 4T_{11} + T_{12} + T_{14} = 0$$

Node 12

$$T_{12} = \frac{T_{11} + \left(\frac{T_9 + T_{15}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_\infty}{2 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{12} = \frac{T_{11} + 0,5T_9 + 0,5T_{15} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{2 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{12} = \frac{T_{11} + 0,5T_9 + 0,5T_{15} + 0,0014}{2}$$

$$0,5T_9 + T_{11} - 2T_{12} + 0,5T_{15} = -0,0014$$

Node 13

$$T_{13} = \frac{\left(\frac{T_{10} + T_{14}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_{\infty}}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{13} = \frac{0,5T_{10} + 0,5T_{14} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{13} = \frac{0,5T_{10} + 0,5T_{14} + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_{10} - T_{13} + 0,5T_{14} = -0,0014$$

Node 14

$$T_{14} = \frac{(T_{15} + 113 + T_{11} + T_{13})}{4}$$

$$T_{11} + T_{13} - 4T_{14} + T_{15} = -113$$

Node 15

$$T_{15} = \frac{\left(\frac{T_{12} + T_{14}}{2}\right) + \frac{h \cdot \Delta x}{k} \cdot T_{\infty}}{1 + \frac{h \cdot \Delta x}{k}}$$

$$T_{15} = \frac{0,5T_{12} + 0,5T_{14} + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193} \cdot 30}{1 + \frac{4,5 \cdot 0,002 \text{ m}}{193}}$$

$$T_{15} = \frac{0,5T_{12} + 0,5T_{14} + 0,0014}{1}$$

$$0,5T_{12} + 0,5T_{14} - T_{15} = -0,0014$$

Maka disusunlah semua node kedalam matriks untuk di kalkulasikan pada microsoft excel.

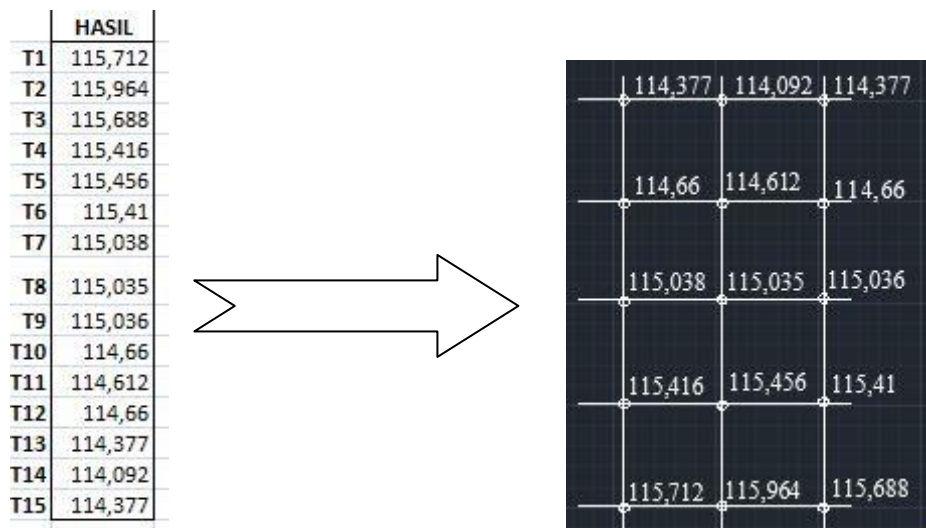
Tabel. 4.5. Susunan node matriks dengan excel pada variasi temperatur 120°C

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
T1	-1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	1	-4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0,5	-1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5	0	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	-2	1	0	0,5	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	1	0	1	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	1	-2	0	0	0,5
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	-1	0,5	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	1
T15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,5	-1

Tabel 4.6. Perkalian hasil invers dari matriks dengan besaran nilai persamaan pada variasi temperatur 120 °C

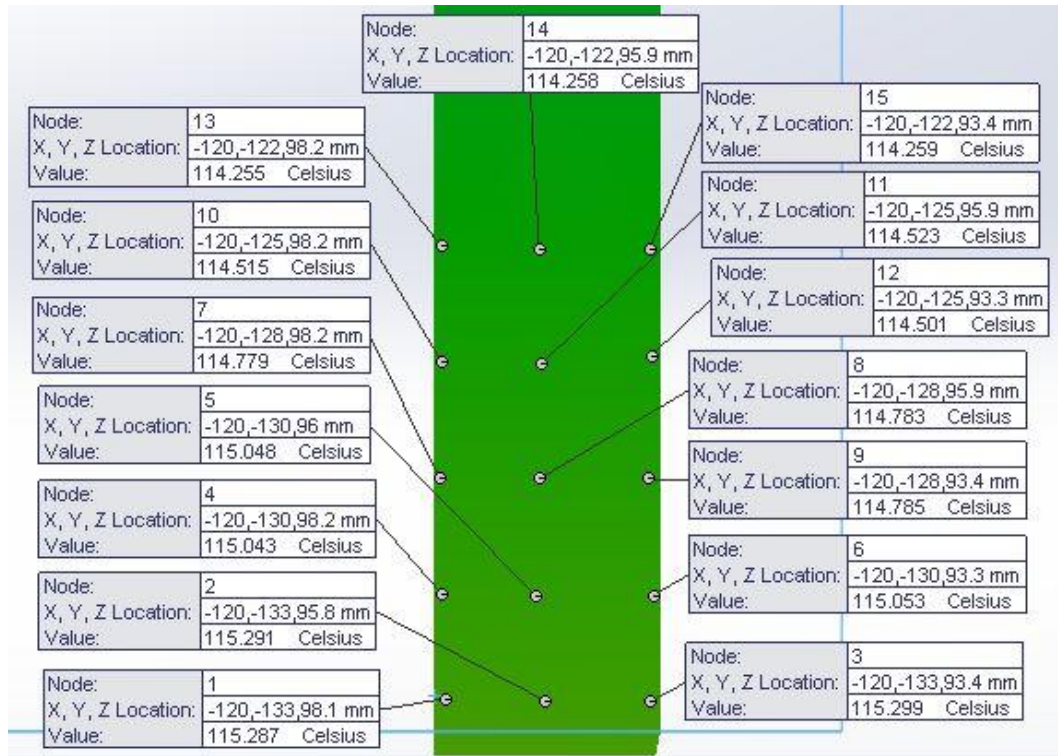
		INVERS																	
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
T1		-2,04	-0,6747	-1,201	-0,731	-1,078	-1,053	-0,7679	-0,833	-0,855	-0,674	-0,633	-0,699	-0,662	-0,3253	-0,675	T1	-0,0014	
T2		-1,027	-0,7385	-1,186	-0,577	-0,8476	-0,895	-0,6126	-0,667	-0,698	-0,54	-0,508	-0,565	-0,532	-0,2615	-0,544	T2	-117	
T3		-1,015	-0,6687	-2,326	-0,6919	-1,0042	-1,316	-0,7593	-0,833	-0,927	-0,679	-0,643	-0,727	-0,671	-0,3313	-0,695	T3	-0,0014	
T4		-1,277	-0,6004	-1,165	-1,3535	-1,1806	-1,13	-1,0527	-1	-0,992	-0,857	-0,774	-0,84	-0,828	-0,3996	-0,82	T4	-0,0014	
T5		-1,053	-0,6108	-1,216	-0,885	-1,3083	-1,211	-0,9232	-1	-1,011	-0,808	-0,757	-0,833	-0,793	-0,3892	-0,806	T5	0	
T6		-1,002	-0,5989	-1,467	-0,8069	-1,1608	-1,736	-0,9061	-1	-1,156	-0,817	-0,777	-0,889	-0,81	-0,4011	-0,846	T6	-0,0014	
T7		-0,962	-0,5056	-1,028	-0,9129	-1,0276	-1,044	-1,5965	-1,167	-1,093	-1,14	-0,949	-0,996	-1,064	-0,4944	-0,992	T7	-0,0014	
T8		-0,907	-0,5053	-1,047	-0,8025	-1,0444	-1,083	-1,1214	-1,333	-1,197	-1,016	-0,971	-1,038	-1,003	-0,4947	-1,014	X	T8	0
T9		-0,888	-0,5052	-1,109	-0,7658	-1,0222	-1,207	-1,0186	-1,167	-1,676	-0,975	-0,95	-1,163	-0,982	-0,4948	-1,076	T9	-0,0014	
T10		-0,758	-0,4114	-0,851	-0,6931	-0,8409	-0,88	-1,0906	-1	-0,987	-1,669	-1,082	-1,068	-1,423	-0,5886	-1,123	T10	-0,0014	
T11		-0,723	-0,3996	-0,835	-0,6465	-0,8194	-0,87	-0,9473	-1	-1,008	-1,143	-1,226	-1,16	-1,172	-0,6004	-1,18	T11	0	
T12		-0,737	-0,4113	-0,875	-0,651	-0,8393	-0,927	-0,9254	-1	-1,154	-1,051	-1,082	-1,687	-1,114	-0,5887	-1,432	T12	-0,0014	
T13		-0,624	-0,3408	-0,709	-0,5663	-0,697	-0,736	-0,8712	-0,833	-0,84	-1,252	-0,925	-0,957	-2,285	-0,6592	-1,138	T13	-0,0014	
T14		-0,49	-0,2703	-0,566	-0,4395	-0,5532	-0,591	-0,6518	-0,667	-0,693	-0,834	-0,769	-0,846	-1,147	-0,7297	-1,153	T14	-113	
T15		-0,613	-0,3408	-0,72	-0,5453	-0,6963	-0,759	-0,7886	-0,833	-0,923	-0,942	-0,925	-1,267	-1,13	-0,6592	-2,293	T15	-0,0014	

Kemudian hasil dari perkalian invers matriks dengan nilai besaran persamaan tiap node di perlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.14. Hasil dan penempatan pada tiap - tiap temperatur

Sedangkan untuk node-node temperatur pada simulasi di perlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.15 Hasil node- node pada simulasi *Solidwork* variasi 120°C

4.2.2 Perhitungan *Heat flux* Menggunakan Rumus Konduksi Keadaan Tunak Dua Dimensi (Rangkap).

1. Perhitungan *heat flux* pada variasi temperatur 100°C.

Diketahui :

Konduktivitas thermal bahan aluminium 3003-O (k) = 193 W/m°C

Perbedaan suhu dari hasil metode numerik (ΔT) = 96,9642 – 95,0915

Δx dan Δy = 2 mm

Ditanya q = ?

Jawab :

$$q = \sum k \cdot \Delta_x \cdot \frac{\Delta T}{\Delta_y}$$

$$q = \sum 193 \text{ W/m} \cdot 0,002 \text{ m} \cdot \left(\frac{1,8727}{0,002 \text{ m}} \right)$$

$$q = 361,4311 \text{ W/m}$$

2. Perhitungan *heat flux* pada variasi temperatur 110°C

Diketahui :

Konduktivitas thermal bahan (k) = 193 W/m°C

Perbedaan suhu dari hasil metode numerik (ΔT) = 105,964 – 104,092

Δx dan $\Delta y = 2 \text{ mm}$

Ditanya $q = ?$

Jawab :

$$q = \sum k \cdot \Delta x \cdot \frac{\Delta T}{\Delta y}$$

$$q = \sum 193 \text{ W/m} \cdot 0,002 \text{ m} \cdot \left(\frac{1,872}{0,002 \text{ m}} \right)$$

$$q = 361,296 \text{ W/m}$$

3. Perhitungan *heat flux* pada variasi temperatur 120°C

Diketahui :

Konduktivitas thermal bahan (k) = 193 W/m°C

Δx dan $\Delta y = 2 \text{ mm}$

Perbedaan suhu dari hasil metode numerik (ΔT) = 115,964 – 114,092

Ditanya $q = ?$

Jawab :

$$q = \sum k \cdot \Delta x \cdot \frac{\Delta T}{\Delta y}$$

$$q = \sum 193 \text{ W/m} \cdot 0,002 \text{ m} \cdot \left(\frac{1,872}{0,002 \text{ m}} \right)$$

$$q = 361,296 \text{ W/m}$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang di dapatkan dari hasil analisa ini ialah sebagai berikut :

1. Simulasi pada temperatur 100°C distribusi temperatur yang paling rendah pada *inner cooking pan* 95,531°C dan yang paling tinggi 96,357°C sedangkan dengan menggunakan metode analisa numerik temperatur yang paling rendah 95,0915°C dan temperatur yang paling tinggi 96,9642°C. Kemudian *heat flux* yang didapatkan dari perhitungan sebesar 361,4311 W/m.
2. Simulasi pada temperatur 110°C distribusi temperatur yang paling rendah pada *inner cooking pan* 105,105°C dan yang paling tinggi 105,981°C sedangkan dengan menggunakan metode analisa numerik temperatur yang paling rendah 104,092°C dan temperatur yang paling tinggi 105,964 °C. Kemudian *heat flux* yang didapatkan dari perhitungan sebesar 361,296 W/m.
3. Simulasi pada temperatur 120°C distribusi temperatur yang paling rendah pada *inner cooking pan* 114,255°C dan yang paling tinggi 115,299°C sedangkan dengan menggunakan metode analisa numerik temperatur yang paling rendah 114,092°C dan temperatur yang paling tinggi 115,964°C. Kemudian *heat flux* yang didapatkan dari perhitungan sebesar 361,296 W/m.

4. Dari hasil simulasi yang dilakukan perhitungan metode numerik dapat disimpulkan sangatlah mendekati dengan hasil simulasi.

5. Dari simulasi dan perhitungan, temperatur yang bagus untuk menanak nasi ialah pada variasi temperatur 120°C di karenakan pada variasi ini bagian *inner cooking pan* pertengahan sudah mendapatkan temperatur diatas 100°C, dimana temperatur tersebut sudah membuat air mendidih sehingga nasi lebih cepat matang.

5.2 Saran

Dalam analisa ini penulis memberikan saran kepada peneliti selanjutnya agar memperhatikan simulasi yang lebih rinci, mislanya menggunakan software ANSIS agar lebih bisa mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan *inner cooking pan*.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P .1993. *“Perpindahan Kalor”*.(Edisi Keenam). Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kumar, D., Sarangi, S., 2009, *“Fabrication and Characterisation of Aluminium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method”*. Rourkela: Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology.
- Purnomo,Agung, Dkk. *“Analisis Bahan Keramik PrifilitSebagai Pengganti Logam Pada Ketel Rice Cooker”*.Universitas Negeri Yogyakarta.
- Totten, George. E, 1999, *“Handbook Of Aluminium”*, Volume 1 , Marcel Dekker, New York, Bassel.
- Yunus,Darami Asyari. 2009. *“ Perpindahan Panas Dan Massa”*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Darma PersadaJakarta.
- www.alibaba.com.html. *“3003-Oaluminium lingkaran lembar untuk rice cooker”*. Lembaran aluminium-ID produk_60565052245-indonesian.
- <http://www.tugasku4u.com/2013/04/rice-cooker.html>
- <http://www.applicadindonesia.com/news/sejarah-solidworks-dan-perkembangannya>
- <https://www.sejukelektronik.com/news/article/asal-usul-rice-cooker-yang-anda-belum-tahu/82>
- <http://arismadata.com/solidworks/blog/2011/12/tutorial-solidworks-terbaru-di-versi-2012/>
- <http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.co.id/2015/04/apa-itu-aluminium-paduan-aluminum-alloy.html>

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

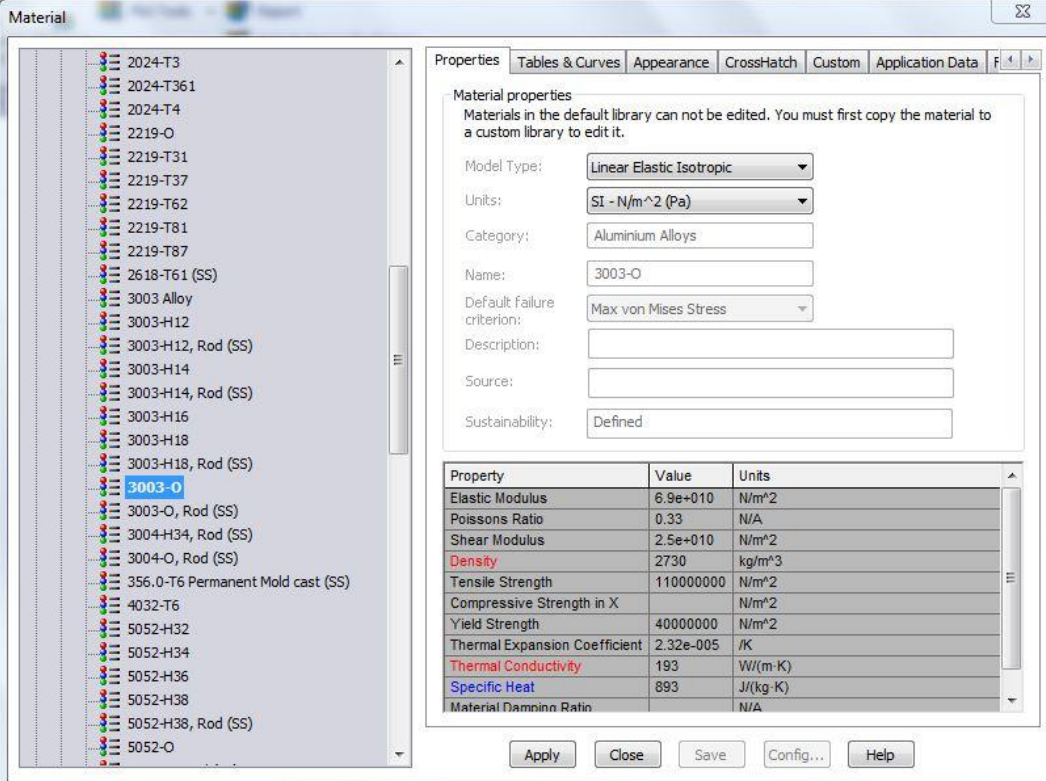
Nama : Ardiansyah Harahap
NPM : 1307230220
Tempat/ Tanggal Lahir : Padangsidempuan, 24 juli 1994
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Jl. Kl. Yos Sudarso, Ampera 5 Medan Timur
Nomor HP : 087767273187
Email : secondtomars09@gmail.com
Nama Orang Tua
 Ayah : Muhammad Sofyan Harahap
 Ibu : Masdewar Siregar

PENDIDIKAN FORMAL

2000-2006 : SD IMPRES HUTARAJA TINGGI SOSA
2006-2009 : MTS YPKS PADANGSIDIMPUAN
2009-2012 : SMK SWASTA TERUNA PADANGSIDIMPUAN
2013-2017 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

LAMPIRAN I

Tabel Properties aluminium 3003-O dari *software Solidworks*



The screenshot shows the SolidWorks Material Properties dialog box for Aluminium 3003-O. The left pane lists various materials, with 3003-O selected. The right pane shows the material properties and their values.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	6.9e+010	N/m ²
Poissons Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.5e+010	N/m ²
Density	2730	kg/m ³
Tensile Strength	110000000	N/m ²
Compressive Strength in X		N/m ²
Yield Strength	40000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.32e-005	/K
Thermal Conductivity	193	W/(m·K)
Specific Heat	893	J/(kg·K)
Material Dampning Ratio		N/A



Gambar Proses pengerjaan desain menggunakan *software Solidworks*

