

**SIMULASI PROSES *ACCUMULATIVE ROLL BONDING* PADA
VARIASI MATERIAL SEBAGAI *ABSORBER* RADIASI
SMARTPHONE DENGAN MENGGUNAKAN
*FINITE ELEMENT METHOD (FEM)***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapat gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Bramasta Yuga Indrabayu
3334190045

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI PROSES *ACCUMULATIVE ROLL BONDING* PADA
VARIASI MATERIAL SEBAGAI *ABSORBER* RADIASI
SMARTPHONE DENGAN MENGGUNAKAN
*FINITE ELEMENT METHOD (FEM)***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

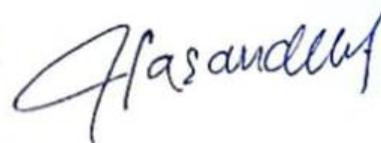
Pembimbing I



Prof. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 197608182008011012

Pembimbing II



Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.

NIP: 199012142019032022

LEMBAR PERSETUJUAN

**SIMULASI PROSES *ACCUMULATIVE ROLL BONDING* PADA
VARIASI MATERIAL SEBAGAI *ABSORBER* RADIASI
SMARTPHONE DENGAN MENGGUNAKAN
*FINITE ELEMENT METHOD (FEM)***

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Bramasta Yuga Indrabayu

3334190045

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

21 Juni 2024

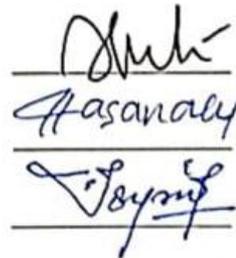
Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Prof. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji II : Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.

Penguji III : Suryana, S.T., M.Si.



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Simulasi Proses *Accumulative Roll Bonding* pada
Variasi Material Sebagai *Absorber Radiasi Smartphone*
dengan Menggunakan *Finite Element Method (FEM)*

Nama : Bramasta Yuga Indrabayu

NIM : 3334190045

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, Juni 2024



Bramasta Yuga Indrabayu

NIM. 3334190045

ABSTRAK

Smartphone merupakan alat telekomunikasi modern yang telah menjadi gaya hidup. Namun, *smartphone* memiliki efek serius mengenai kemungkinan bahaya yang disebabkan *electromagnetic field* (EMF). Masalah tersebut dapat dilakukan menggunakan *Accumulative Roll Bonding* (ARB) agar memiliki proteksi fisik dan mengurangi pancaran radiasi. Penelitian ini menggunakan material aluminium AA1100-O, tembaga ETP C11000, dan timbal murni L50042. Proses ini disimulasikan menggunakan *Finite Element Method* (FEM) menggunakan aplikasi ANSYS R2 2023 untuk melakukan simulasi ARB lalu mendapatkan nilai kekuatan. ANSYS *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) untuk melakukan simulasi seberapa jauh pengaruh pelat dari pancaran radiasi *smartphone*. Penelitian ini menggunakan pelat dengan dua ukuran, yaitu 5 x 13 cm untuk tiga lapis dan 6 x 14 cm untuk empat lapis. Penelitian simulasi dimulai dengan proses *pre treatment* atau pemanasan dengan hasil temperatur dan *heat flux*. Setelah itu dilakukan pencanaian ARB sebanyak lima siklus atau lima kali. Hasilnya simulasi *pre treatment* mempengaruhi hasil proses pencanaian selanjutnya. Nilai kekuatan material pada simulasi juga menghasilkan kenaikan rata-rata sebesar 184%, dengan kenaikan tertinggi pada aluminium empat lapis, sebesar 375,2 MPa. Berbeda dengan penelitian langsung, di mana kenaikan tertinggi terjadi pada tembaga tiga lapis, hanya sebesar 211,35 MPa. Terakhir penelitian dilanjut simulasi radiasi dan menghasilkan simulasi yang dapat mengabsorb radiasi dengan rata-rata 19%. Penelitian simulasi didapatkan *absorber* radiasi tertinggi pada aluminium empat lapis, yaitu sebesar 216,3 μT , atau % absorbansi 23%. Berbeda dengan penelitian langsung, di mana *absorber* radiasi lebih tinggi terjadi pada timbal empat lapis, yaitu sebesar 0,77 μT , atau % absorbansi 97%, dengan rata-rata keseluruhan material *absorber* radiasi sebesar 91%.

Kata Kunci: *Accumulative Roll Bonding* (ARB), ANSYS, Simulasi Pemanasan, Simulasi Pencanaian, Simulasi Radiasi

ABSTRACT

Smartphones are modern telecommunication devices that have become a way of life. However, smartphones have serious effects regarding possible harm caused by electromagnetic fields (EMF). The problem can be solved using Accumulative Roll Bonding (ARB) to have physical protection and reduce radiation emission. This research uses aluminum AA1100-O, copper ETP C11000, and pure lead L50042. This process was simulated using the Finite Element Method (FEM) using the ANSYS R2 2023 application to simulate ARB and then obtain strength values. ANSYS High Frequency Structure Simulator (HFSS) to simulate how far the plate is affected by smartphone radiation. This research uses plates with two sizes, namely 5 x 13 cm for three layers and 6 x 14 cm for four layers. The simulation research starts with the pre-treatment or heating process with the results of temperature and heat flux. Afterward, ARB processing was carried out for five cycles or five times. The result is that the pre-treatment simulation affects the results of the subsequent rolling process. The strength value of the material in the simulation also resulted in an average increase of 184%, with the highest increase in four-layer aluminum, at 375.2 MPa. In contrast to experiment research, where the highest increase occurred in three-layer copper, only 211.35 MPa. Finally, the research continued with radiation simulation and produced simulations that can absorb radiation with an average of 19%. Simulation research obtained the highest radiation absorber in four-layer aluminum, which is 216.3 μ T, or % absorbance of 23%. In contrast to experiment research, where higher radiation absorber occurs in four-layer lead, which is 0.77 μ T, or % absorbance of 97%, with an overall average radiation absorber material of 91%.

Keyword: *Accumulative Roll Bonding (ARB), ANSYS, Heating Simulation, Rolling Simulation, Radiation Simulation*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta 'ala, yang dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini berjudul “Simulasi Proses *Accumulative Roll Bonding* pada Variasi Material Sebagai *Absorber Radiasi Smartphone* dengan Menggunakan *Finite Element Method (FEM)*” yang menjadi salah satu syarat kelulusan sebagai seorang sarjana teknik metalurgi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam kesempatan ini pula izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Gatot Widodo dan Ibu Yuliana Irmawati selaku orang tua serta adik dan keluarga besar dari penulis yang selalu memberikan doa, semangat, dan kasih sayang.
2. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Prof. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku pembimbing pertama dan pembimbing kedua penulis yang selalu membimbing dalam penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
4. Seluruh staf, karyawan, dan pihak-pihak instansi yang terkait telah berpartisipasi dengan penelitian ini.
5. Kakak tingkat dan teman-teman Metalurgi 2019 yang telah memberikan doa, dukungan, dan partisipasinya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih memiliki kekurangan, maka dari itu kritik dan saran bersifat membangun dari pihak-pihak diharapkan. Penulis berharap semoga Skripsi ini bermanfaat terkhusus bagi penulis dan kepada pembaca pada umumnya.

Cilegon, 21 Juni 2024

Bramasta Yuga Indrabayu

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
Bab I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penelitian	6
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Ponsel Pintar (<i>Smartphone</i>).....	7

2.2	Radiasi Elektromagnetik	12
2.3	Antena	14
2.4	Aluminium	20
2.5	Timbal	25
2.6	Tembaga.....	29
2.7	<i>Accumulative Roll Bonding (ARB)</i>	33
2.8	<i>Case Smartphone Anti-Radiation (CSAR)</i>	36
2.9	Permeabilitas magnetik	38
2.10	<i>Finite Element Analysis (FEA)</i>	39
2.11	ANSYS.....	41
2.12	<i>ANSYS High Frequency Structure Simulator (HFSS)</i>	45
Bab III METODE PENELITIAN		47
3.1	Diagram Alir Penelitian	47
3.1.1	Diagram Alir Simulasi <i>Pre Treatment</i>	47
3.1.2	Diagram Alir Simulasi Pencanaian (<i>Rolling</i>).....	50
3.1.3	Diagram Alir Simulasi Pancaran Radiasi	52
3.2	Alat, Data, dan Komponen.....	55
3.2.1	Alat-alat yang Digunakan	55
3.2.2	Data dan Komponen yang Digunakan	55
3.3	Prosedur Penelitian	55

3.3.1	Prosedur Simulasi <i>Pre Treatment</i>	56
3.3.2	Prosedur Simulasi Pencanaian.....	56
3.3.3	Prosedur Simulasi Pancaran Radiasi	57
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		59
4.1	Hasil Penelitian.....	59
4.2	Simulasi Proses <i>Pre Treatment</i>	64
4.3	Simulasi Proses Pencanaian	75
4.4	Simulasi Proses Radiasi <i>Absorber</i>	92
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN		100
5.1	Kesimpulan.....	100
5.2	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA.....		102
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN.....		108
LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN		111
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN KOMPONEN.....		128

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Data Radiasi Beberapa Ponsel.....	10
Tabel 2.2 Komposisi Kimia AA1100-O.....	23
Tabel 2.3 <i>Material Properties</i> AA1100-O	24
Tabel 2.4 <i>Material Properties</i> L50042 <i>Sand Cast</i>	27
Tabel 2.5 Komposisi Kimia L50042 <i>Sand Cast</i>	29
Tabel 2.6 Komposisi Kimia ETP C11000.....	32
Tabel 2.7 <i>Material Properties</i> ETP C11000.....	33
Tabel 4.1 Perubahan Dimensi Pelat Al	60
Tabel 4.2 Perubahan Dimensi Pelat Cu.....	61
Tabel 4.3 Perubahan Dimensi Pelat Pb	62
Tabel 4.4 Hasil Temperatur dan <i>Heat Flux</i>	65
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tarik Secara Penelitian Langsung	90
Tabel 4.6 % Kenaikan dari UTS dan <i>Max Stress</i>	91
Tabel 4.7 Data Hasil Radiasi Pengujian Langsung dan Pengujian Simulasi.....	99
Tabel B.1 Hasil Temperatur pada Simulasi Pemanasan Pelat Tiga Lapis	112
Tabel B.2 Hasil Temperatur pada Simulasi Pemanasan Pelat Empat Lapis	113
Tabel B.3 Hasil <i>Heat Flux</i> pada Simulasi Pemanasan Pelat Tiga Lapis.....	114
Tabel B.4 Hasil <i>Heat Flux</i> pada Simulasi Pemanasan Pelat Empat Lapis.....	115

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Antena Sebagai Perangkat Transisi.....	15
Gambar 2.2 Bijih Bauksit	22
Gambar 2.3 Contoh Bentuk Produk Aluminium	22
Gambar 2.4 Bijih Kerusit.....	26
Gambar 2.5 Bijih Kalkopirit.....	30
Gambar 2.6 Skema Siklus ARB.....	34
Gambar 2.7 <i>Casing Pelindung Defender Shield (a), Safe Sleeve (b), Shield Your Body (c)</i>	37
Gambar 2.8 (a) Pelat berlubang (model CAD) (b) Diskritisasi FEM (<i>mesh</i>).....	41
Gambar 2.9 Analisa Statis Bentuk Cacat.....	44
Gambar 3.1 Diagram Alir Simulasi <i>Pre Treatment</i>	49
Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi Pencanaian	52
Gambar 3.3 Desain Antena SIW <i>Aperture 5G</i>	53
Gambar 3.4 Diagram Alir Simulasi Pancaran Radiasi	54
Gambar 4.1 Pelat Tiga Lapis Al (a), Cu (b), Pb (c), dan Empat Lapis Al (d), Cu (e), Pb (f).....	60
Gambar 4.2 Kurva Waktu Terhadap Temperatur pada Pelat Tiga dan Empat Lapis pada Al (a), Cu (b), dan Pb (c)	67
Gambar 4.3 Gambaran Hasil Temperatur Pelat Tiga Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb	68
Gambar 4.4 Gambaran Hasil Temperatur Pelat Empat Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb	70
Gambar 4.5 Kurva Waktu Terhadap <i>Heat Flux</i> pada Pelat Tiga dan Empat Lapis pada Al (a), Cu (b), dan Pb (c)	71
Gambar 4.6 Gambaran Hasil <i>Heat Flux</i> Pelat Tiga Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb...	73

Gambar 4.7	Gambaran Hasil <i>Heat Flux</i> Pelat Empat Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb	74
Gambar 4.8	<i>Roller</i> Penelitian Langsung (a) dan Simulasi (b) Dalam cm	76
Gambar 4.9	Hasil Pencanaian Aluminium Tiga Lapis (a) <i>Stress</i> (b) <i>Strain</i>	78
Gambar 4.10	Hasil Pencanaian Tembaga Tiga Lapis (a) <i>Stress</i> (b) <i>Strain</i>	80
Gambar 4.11	Hasil Pencanaian Timbal Tiga Lapis (a) <i>Stress</i> (b) <i>Strain</i>	81
Gambar 4.12	Hasil Pencanaian Aluminium Empat Lapis (a) <i>Stress</i> (b) <i>Strain</i> ...	83
Gambar 4.13	Hasil Pencanaian Tembaga Empat Lapis (a) <i>Stress</i> (b) <i>Strain</i>	84
Gambar 4.14	Hasil Pencanaian Timbal Empat Lapis (a) <i>Stress</i> (b) <i>Strain</i>	85
Gambar 4.15	Grafik Tegangan-Regangan Pelat Al 3 Lapis dan 4 Lapis	87
Gambar 4.16	Grafik Tegangan-Regangan Pelat Cu 3 Lapis dan 4 Lapis	88
Gambar 4.17	Grafik Tegangan-Regangan Pelat Pb 3 Lapis dan 4 Lapis.....	89
Gambar 4.18	Hasil Simulasi Antena	93
Gambar 4.19	Hasil Simulasi Radiasi dengan Aluminium Tiga Lapis	94
Gambar 4.20	Hasil Simulasi Radiasi dengan Tembaga Tiga Lapis.....	95
Gambar 4.21	Hasil Simulasi Radiasi dengan Timbal Tiga Lapis	96
Gambar 4.22	Hasil Simulasi Radiasi dengan Aluminium Empat Lapis	97
Gambar 4.23	Hasil Simulasi Radiasi dengan Tembaga Empat Lapis.....	97
Gambar 4.24	Hasil Simulasi Radiasi dengan Timbal Empat Lapis	98
Gambar B.1	Hasil Simulasi Pemanasan Aluminium Tiga Lapis	117
Gambar B.2	Hasil Simulasi Pemanasan Tembaga Tiga Lapis	117
Gambar B.3	Hasil Simulasi Pemanasan Timbal Tiga Lapis.....	118
Gambar B.4	Hasil Simulasi Pemanasan Aluminium Empat Lapis	118
Gambar B.5	Hasil Simulasi Pemanasan Tembaga Empat Lapis	118
Gambar B.6	Hasil Simulasi Pemanasan Timbal Empat Lapis.....	119
Gambar B.7	Hasil Simulasi Pencanaian Aluminium Tiga Lapis.....	119
Gambar B.8	Hasil Simulasi Pencanaian Tembaga Tiga Lapis	120

Gambar B.9 Hasil Simulasi Pencanaian Timbal Tiga Lapis	120
Gambar B.10 Hasil Simulasi Pencanaian Aluminium Empat Lapis.....	121
Gambar B.11 Hasil Simulasi Pencanaian Tembaga Empat Lapis	121
Gambar B.12 Hasil Simulasi Pencanaian Timbal Empat Lapis	122
Gambar B.13 Grafik Hasil <i>Stress-Strain</i> Al Tiga Lapis dan Empat Lapis.....	122
Gambar B.14 Grafik Hasil <i>Stress-Strain</i> Cu Tiga Lapis dan Empat Lapis	123
Gambar B.15 Grafik Hasil <i>Stress-Strain</i> Pb Tiga Lapis dan Empat Lapis.....	123
Gambar B.16 Hasil Simulasi Radiasi Antena.....	124
Gambar B.17 Hasil Simulasi Radiasi Aluminium Tiga Lapis.....	124
Gambar B.18 Hasil Simulasi Radiasi Tembaga Tiga Lapis	125
Gambar B.19 Hasil Simulasi Radiasi Timbal Tiga Lapis	125
Gambar B.20 Hasil Simulasi Radiasi Aluminium Empat Lapis.....	126
Gambar B.21 Hasil Simulasi Radiasi Tembaga Empat Lapis	126
Gambar B.22 Hasil Simulasi Radiasi Timbal Empat Lapis	127
Gambar C.1 Jaringan Internet.....	129
Gambar C.2 Komputer	129
Gambar C.3 ANSYS R2 2023	129
Gambar C.4 ANSYS HFSS	129
Gambar C.5 AutoCAD 2022	129
Gambar C.6 Pelat Al 3 Lapis.....	130
Gambar C.7 Pelat Cu 3 Lapis	130
Gambar C.8 Pelat Pb 3 Lapis.....	130
Gambar C.9 Pelat Al 4 Lapis.....	130
Gambar C.10 Pelat Cu 4 Lapis	130
Gambar C.11 Pelat Pb 4 Lapis.....	130
Gambar C.12 <i>Roller</i>	131

Bab I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ponsel pintar atau disebut *smartphone* merupakan alat telekomunikasi modern yang telah menjadi gaya hidup saat ini. Beberapa ahli meyakini bahwa *smartphone* muncul ketika produsen mulai memasukkan program canggih dan fitur penjelajahan Web ke dalam *handset* mereka. Secara umum, perbedaan *smartphone* dari ponsel biasa adalah dengan berjalan di atas sistem operasi yang terbuka dan dapat menampung aplikasi yang ditemukan dan dikembangkan oleh pengembang luar [1]. Memiliki penggunaan sebanyak 210,77 juta; menjadikan Indonesia sebagai pasar *smartphone* terbesar di Asia dengan 21,2 persen didominasi oleh merek Oppo [2]. Namun dalam perkembangannya, *smartphone* memiliki efek yang cukup serius pada keselamatan yang menjadi kekhawatiran dari para pengguna peralatan nirkabel khususnya, mengenai kemungkinan bahaya yang disebabkan oleh *electromagnetic field* (EMF). EMF atau medan elektromagnetik adalah sifat ruang yang disebabkan oleh gerakan muatan listrik. Apabila muatan tersebut tidak bergerak maka hanya akan menghasilkan medan listrik, sementara itu apabila muatan tersebut bergerak maka akan menghasilkan medan magnet juga [3]. Kekhawatiran ini semakin meningkat terhadap kemungkinan efek kesehatan yang merugikan akibat paparan *radiofrequency radiation* (RFR), seperti yang berasal dari perangkat komunikasi seluler. Komunikasi seluler merupakan sinyal yang ditransfer melalui gelombang elektromagnetik melalui frekuensi radio dan sinyal

gelombang mikro. Sinyal ini menghasilkan radiasi elektromagnetik dalam bentuk radiasi panas yang terdiri dari radiasi *ionizing* yang berbahaya dan radiasi *non-ionizing* yang tidak berbahaya [4]. Untuk melihat tingkat radiasi pada *smartphone*, dapat dilakukan pengecekan menggunakan nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) yang merupakan nilai dari radiasi RF pada *smartphone* yang sesuai dengan jumlah relatif energi RF yang diserap di kepala pengguna *handset* nirkabel. Lembaga independen dari pemerintah Amerika Serikat yaitu *Federal Communications Commission* (FCC) telah menetapkan batas SAR sebesar 1,6 W/kg atau 0,18 μ T dan Dewan Uni Eropa juga menetapkan batas SAR sebesar 2,0 W/kg atau 0,23 μ T [5].

Dalam menekan pancaran radiasi, maka dihadirkan produk berupa *Case Smartphone Anti-Radiation* (CSAR). CSAR digunakan untuk mengurangi pancaran radiasi dikarenakan benda tersebut termasuk ke dalam jenis aksesoris pada *smartphone* dan biasa digunakan oleh para penggunanya dalam kehidupan sehari-hari, namun dengan menggunakan material yang dapat mengurangi pancaran radiasi tersebut. Solusi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan proses *Accumulative Roll Bonding* (ARB) untuk mendapatkan hasil yang mumpuni sebagai sebuah *casing smartphone* yaitu memiliki proteksi secara fisik dan dapat pula mengurangi pancaran radiasi. ARB adalah salah satu proses *Severe Plastic Deformation* (SPD) dimana spesimen diberikan perlakuan pengikatan gulungan konvensional setelah penumpukan dua strip dilakukan berulang kali [6]. Pada penelitian ini digunakan material berupa aluminium, timbal, dan tembaga. Aluminium yang digunakan adalah berjenis AA1100-O, yaitu paduan aluminium murni komersial dengan kandungan aluminium minimal 99,0%. AA1100-O merupakan bagian dari seri 1000 dan merupakan komposisi Al paling berat dari seri

ini, selain itu juga memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang sangat baik. Lalu untuk tembaga yang digunakan adalah tembaga *Electrolytic Tough Pitch* (ETP) berkode UNS C11000 yang merupakan paduan tembaga murni komersial dengan kemurnian minimum 99,9% tembaga. Tembaga ini sangat konduktif, sehingga ideal untuk konduktor listrik dan elektronik, perlengkapan pengelasan, anoda, dan perangkat pembawa arus. Kemudian timbal yang digunakan adalah timbal murni *sand cast* berkode UNS L50042 dengan kemurnian sebesar 99,94%; lunak atau ulet, dan biasa digunakan dalam komponen kelistrikan.

Penelitian ini didasarkan dengan penelitian langsung yang dilakukan oleh Khoirul Rifai Sambilan, Alumni jurusan teknik metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pada hasil penelitiannya, didapatkan data berupa *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dari pelat yang telah dilakukan, yaitu pada aluminium tiga lapis sebesar 80,497 MPa; aluminium empat lapis sebesar 87,617 MPa; tembaga tiga lapis sebesar 211,35 MPa; tembaga empat lapis sebesar 172,25 MPa; timbal tiga lapis sebesar 7,68 MPa; dan timbal empat lapis sebesar 9,868 MPa. Selain nilai UTS, didapatkan pula nilai penurunan radiasi *smartphone* yang dilakukan dengan tiga *smartphone* yang berbeda-beda dan pelindung atau *casing* yang berbeda pula, yaitu pelindung plastik dan dua pelindung keramik yang berbeda. Hasil penelitian radiasi kemudian dirata-ratakan dan menunjukkan hasil penurunan radiasi dengan pelat aluminium tiga lapis sebesar 85%, aluminium empat lapis sebesar 89%, tembaga tiga lapis sebesar 90%, tembaga empat lapis sebesar 92%, timbal tiga lapis sebesar 95%, dan timbal empat lapis sebesar 97% [7].

Penelitian tersebut disimulasikan menggunakan *Finite Element Method* (FEM) yang merupakan teknik numerik yang digunakan untuk melakukan *Finite*

Element Analysis (FEA) dari setiap fenomena fisik yang diberikan. Metode tersebut merupakan metode yang populer untuk menyelesaikan persamaan diferensial secara numerik yang muncul dalam bidang teknik dan pemodelan matematika. FEM yang digunakan pada penelitian ini merupakan aplikasi ANSYS di mana perangkat lunak simulasi teknik dengan pengaplikasian *Computer Aided Engineering* (CAE) atau multi-fisika. ANSYS memberikan tentang pengembangan perangkat lunak tertanam yang berbasis model dan lingkungan simulasi dengan generator kode otomatis bawaan untuk mempercepat perangkat lunak tertanam. Sementara itu, ANSYS yang digunakan adalah ANSYS versi R2 2023 untuk melakukan simulasi *pre treatment* atau pemanasan, kemudian dilanjutkan dengan simulasi pencanaan dengan metode ARB yang menghasilkan nilai kekuatan. Selanjutnya penggunaan ANSYS *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) untuk melakukan simulasi seberapa jauh pengaruh CSAR dari pancaran radiasi *smartphone* dari para pengguna. Oleh karena itu, penelitian CSAR ini dilakukan untuk mencari nilai kekuatan, kekerasan, dan redaman radiasi dari variasi-variasi material yang telah disebutkan dan kemudian dilakukan verifikasi dan validasi terhadap penelitian CSAR yang dilakukan pula secara langsung dari alumni mahasiswa yang menggunakan spesimen dengan variasi material yang memiliki kesamaan dengan penelitian simulasi.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mensimulasikan material *case smartphone* yang kuat dan tangguh sebagaimana mestinya sebuah aksesoris *case* pada umumnya, namun dapat mengurangi radiasi dari *smartphone* tanpa

mengganggu kinerjanya. Material yang digunakan pun adalah aluminium, tembaga, dan timbal. Adapun untuk tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Memverifikasi pengaruh perlakuan panas atau *pre-heating* sebelum dilakukan proses ARB dengan menggunakan aplikasi ANSYS R2 2023
2. Memverifikasi nilai kekuatan material dari hasil proses ARB dengan variasi lapisan sebanyak 3 dan 4 lapis menggunakan aplikasi ANSYS R2 2023
3. Memverifikasi kemampuan variasi material untuk menurunkan pancaran radiasi pada *smartphone* dengan variasi lapisan sebanyak 3 dan 4 lapis menggunakan aplikasi ANSYS HFSS

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah bagaimana simulasi proses pada tiga variasi material yaitu aluminium, timbal, dan tembaga efektif meredam pancaran radiasi *smartphone* dengan melakukan proses ARB pada aplikasi ANSYS versi R2 2023 dan ANSYS *High Frequency Structure Simulator* (HFSS).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini memiliki variabel bebas, terikat, dan terkontrol. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jenis material yang digunakan untuk *case smartphone*. Lalu pada variabel terikatnya adalah hasil atau *output* tingkat peredam radiasi pada material, kekuatan dan kekerasan dari material *case*, dan pengaruh dari jumlah lapisan material dalam meredam radiasi. Terakhir pada

variabel kontrolnya adalah pancaran radiasi saat tidak diberi *case* dan ketika menggunakan *case* pada umumnya.

1.5 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan penelitian ini memiliki lima bab. Bab I menjelaskan mengenai latar belakang dari dilakukannya penelitian pengaruh radiasi *smartphone* bagi manusia, parameter material *absorber* radiasi, variasi material *absorber* radiasi, dilanjutkan dengan tujuan penelitian yang akan dilakukan, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian. Bab II menjelaskan mengenai radiasi antena, material yang digunakan pada penelitian, *Accumulative Roll Bonding (ARB)*, *Finite Element Analysis (FEA)* dan ANSYS. Bab III menjelaskan mengenai metode penelitian simulasi *pre treatment*, pencanaan, dan radiasi yang berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur dalam penelitian dimulai dari pembuatan desain, penyesuaian *meshing* dan *boundary*, dan proses pengujian. Bab IV menjelaskan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan. Bab V berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan. Selain itu terdapat daftar pustaka yang digunakan dan lampiran data hasil penelitian yang telah dilakukan.

Bab II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ponsel Pintar (*Smartphone*)

Seorang manajer motorola divisi sistem, Martin Cooper, memperkenalkan purwarupa ponsel pertama di dunia pada tanggal 3 April 1973 di kota New York. Dengan berat hanya 28 ons, purwarupa tersebut menjadi revolusioner dengan bodi yang tipis, antena panjang, dan bagian bawah yang menonjol bagaikan sepatu bot. Pada akhirnya, ponsel yang dikembangkan Cooper dan timnya yaitu DynaTAC menciptakan ponsel yang pas di telapak tangan. Dalam sejarah, tidak ada yang menjelaskan mengenai asal-usul *smartphone* ini. Beberapa orang berpendapat bahwa *smartphone* lahir pada tahun 2007, ketika salah satu pendiri Apple, Steve Jobs, dengan bangga memamerkan iPhone pertama di konferensi *Macworld* di San Francisco. Namun, yang banyak orang lupa atau tidak tahu adalah bahwa ponsel dengan fitur *smartphone* telah dijual selama lebih dari satu dekade. Beberapa ahli percaya bahwa *smartphone* muncul dari ponsel ketika produsen mulai memasukkan program-program canggih dan fitur-fitur penjelajahan Web ke dalam *handset* mereka. Beberapa orang lain mengatakan bahwa *Personal Digital Assistant (PDA)*, dengan layar sentuh dan sistem operasi terbuka, adalah nenek moyang *smartphone* yang sebenarnya. Sebagian berpendapat bahwa pager dan perangkat pesan, termasuk BlackBerry awal, membuka jalan dengan memperkenalkan data seluler dan *email* ke khalayak luas. Butuh waktu lebih dari satu dekade untuk menjejalkan semua fitur ini ke dalam satu perangkat genggam. *Smartphone* paling awal datang

dari IBM, Nokia, Ericsson, Palm, dan Research In Motion/BlackBerry. Meskipun ponsel-ponsel ini telah mendorong batas-batas pada tahun 1990-an dan awal tahun 2000-an, mereka semua memiliki keterbatasan dalam beberapa hal, terutama dalam hal akses Internet dan aplikasi. Sebagian besar ponsel pintar awal ini tidak sukses secara penjualan. Beberapa di antaranya merupakan ponsel yang gagal. Namun semuanya berkontribusi pada *smartphone* yang sekarang, di antaranya adalah iPhone, ponsel Android, Windows Phone, atau BlackBerry [1].

Smartphone adalah kemajuan teknologi terkini. Seperti contoh, Blackberry memiliki perangkat yang memungkinkan penggunanya untuk melakukan panggilan telepon dan memeriksa *email* lebih awal, *smartphone*, yang menggabungkan semua fungsionalitas komputer pribadi dengan akses Internet, ponsel, dan aplikasi baru, dimulai dengan iPhone. Adopsi perangkat ini dan penyertaan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari telah meningkat secara signifikan. Terlalu cepatnya pengadopsian dan penyertaan ini membuat para ahli terlalu lambat untuk menyelidiki *smartphone* ke tingkat yang sesuai dengan keberadaan *smartphone* di mana-mana. Tampaknya teoritis teknologi yang ada tidak dilengkapi dengan baik untuk memahami ekspansi dan evolusi *smartphone* yang cepat. *Smartphone* adalah versi teknologi yang telah berevolusi. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk memajukan teori sosiologi teknologi untuk lebih memahami dampak sosial dari *smartphone* [8].

Dalam sistem telepon radio, terdapat satu menara antena pusat per kota, dengan sekitar 25 saluran. Awalnya hanya sekitar 2000 konsumen yang dapat menggunakannya karena hanya ada beberapa saluran, tetapi pada abad ke-21 saat

ini ada sekitar 1,4 miliar pelanggan di dunia. GSM dan CDMA adalah teknologi telepon seluler yang paling sukses di dunia, *handset* CDMA berbasis *chip* sedangkan *handset* GSM menggunakan kartu SIM, dengan menggunakan fasilitas GPRS dan EDGE, GSM berhasil memikat pelanggan, namun CDMA masih tertinggal dari GSM karena kemampuannya yang terbatas dan masalah lainnya [9].

Global System for Mobile Communication (GSM) adalah yang pertama dan masih menjadi standar jaringan seluler terpopuler yang didirikan pada tahun 1982. Standar GSM mentransmisikan data pada salah satu dari tiga pita frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, dan 1900 MHz. Pada awalnya GSM merupakan versi modifikasi dan lebih efisien dari TDMA yang memungkinkan layanan Suara dan Data. Sementara itu, *Coded Division Multiple Access* (CDMA) merupakan metode *multiplexing* yang paling menarik dan paling sulit diimplementasikan, karena tidak memiliki *channel*. Sebaliknya, sistem ini mengkodekan setiap panggilan sebagai urutan kode di seluruh spektrum frekuensi. Setiap percakapan dimodulasi dalam domain digital, dengan kode unik (*pseudo noise code*) yang membuatnya dapat dibedakan dari panggilan lain dalam spektrum frekuensi. Dengan menggunakan perhitungan korelasi dan kode yang dikodekan dengan sinyal audio digital dapat diekstraksi dari sinyal lain yang disiarkan oleh telepon lain di jaringan. Selama pemisahan yang cukup antara kode-kode tersebut, tingkat kebisingan akan cukup rendah untuk memulihkan sinyal digital. Fakta bahwa CDMA berbagi frekuensi dengan menara pemancar yang berdekatan memungkinkan pemasangan kapasitas ekstra dengan mudah dengan menambahkan situs sel tambahan dan mengurangi tingkat daya dari situs terdekat [9]. Berikut merupakan data dari pancaran radiasi

beberapa ponsel dari SAR standar negara Amerika Serikat untuk bagian kepala dan badan pada manusia [10], diikuti dengan satuan mikrotesla yang disesuaikan pada jurnal [11] dengan standar GSM-900 atau pada frekuensi 900 MHz dan asumsi dalam ruangan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Radiasi Beberapa Ponsel

Ponsel	Jaringan	Head SAR (W/kg)	Body SAR (W/kg)
 Nokia 2110	-	1,48 (0,14 μ T)	0,13 (0,01 μ T)
 iPhone 1	1G	0,97 (0,12 μ T)	0,38 (0,04 μ T)
 BlackBerry Curve 8520	2G	1,22 (0,13 μ T)	0,83 (0,05 μ T)



Samsung
Galaxy Fame

3G

1,46
(0,14 μ T)

0,94
(0,13 μ T)



Realme Narzo

4G

1,138
(0,13 μ T)

0,586
(0,04 μ T)



Google Pixel
6A

5G

1,1
(0,14 μ T)

1,16
(0,12 μ T)

Pada Tabel 2.1, terdapat keterangan pancaran radiasi yang terjadi dari masing-masing ponsel dengan nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) dalam satuan W/kg dan nilai *magnetic field* dalam satuan μ T. Konversi yang dilakukan dari nilai SAR ke *magnetic field* perlu memiliki beberapa kriteria tambahan, seperti jarak antara ponsel dengan manusia dan frekuensi yang dipancarkan dari ponsel. Maka dari itu, diperlukan jurnal untuk mendukung konversi nilai SAR ke nilai *magnetic field*, di mana jurnal tersebut menggunakan metode berupa ponsel dengan kartu *provider* GSM berfrekuensi sebesar 900 MHz. Lalu jarak yang digunakan adalah 1 cm, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.

2.2 Radiasi Elektromagnetik

Radiasi elektromagnetik (EM) adalah gangguan listrik dan magnetik yang bergerak melalui ruang angkasa dengan kecepatan cahaya ($2,998 \times 10^8$ m/s). Radiasi ini tidak mengandung massa atau muatan, namun bergerak dalam paket energi radiasi yang disebut foton, atau kuantum. Contoh radiasi EM termasuk gelombang radio dan gelombang mikro, serta inframerah, *ultraviolet*, *gamma*, dan sinar x. Beberapa sumber radiasi EM termasuk sumber di alam semesta (misalnya, matahari dan bintang), elemen radioaktif, dan perangkat yang diproduksi. EM menunjukkan sifat gelombang dan partikel ganda. Radiasi elektromagnetik bergerak dalam bentuk gelombang dengan kecepatan konstan. Karakteristik gelombang radiasi EM ditemukan dalam hubungan kecepatan dengan panjang gelombang (jarak garis lurus dari satu siklus) dan frekuensi (siklus per detik, atau *hertz*, Hz) [12].

Karena kerapatan energi radiasi elektromagnetik sebanding dengan kuadrat kekuatan medan listrik dan kekuatan medan yang disebabkan oleh akselerasi muatan, maka energi yang dipancarkan oleh osilator muatan meningkat dengan kuadrat akselerasi. Di sisi lain, akselerasi osilator bergantung pada frekuensi osilasi maju-mundur. Akselerasi meningkat dengan kuadrat frekuensi. Hal ini mengarah pada hasil penting bahwa energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh osilator meningkat dengan sangat cepat-yaitu, dengan kuadrat dari kuadrat atau dengan pangkat empat dari frekuensi. Menggandakan frekuensi dengan demikian menghasilkan peningkatan energi yang dipancarkan dengan faktor 16. Radiasi elektromagnetik muncul dalam berbagai macam bentuk dan perwujudan. Namun,

fenomena yang beragam ini dipahami sebagai satu aspek alam, mengikuti prinsip fisika sederhana. Hal ini adalah fakta bahwa radiasi elektromagnetik berinteraksi dengan dan dihasilkan muatan listrik. Perbedaan nyata dalam fenomena muncul dari pertanyaan di lingkungan mana dan dalam keadaan apa muatan dapat merespons pada skala waktu frekuensi ν dari radiasi [13].

Masyarakat modern dikuasai oleh penggunaan perangkat seluler dan komputer serta laptop yang meluas dengan fungsi Wi-Fi. Bidang frekuensi radio (RF) adalah bagian dari spektrum elektromagnetik dan secara umum didefinisikan sebagai rentang frekuensi dari 100 kHz hingga 300 GHz. Ponsel menggunakan gelombang frekuensi radio, yang merupakan medan elektromagnetik dan, tidak seperti radiasi pengion (misalnya, sinar-X dan sinar gamma) tidak dapat memutuskan ikatan kimia atau menyebabkan ionisasi dalam tubuh manusia sehingga tidak terlalu berbahaya. Radiasi ini juga dikenal sebagai bentuk radiasi non-pengion. Namun, ada bukti yang menunjukkan bahwa sperma yang terpapar EMR dapat kehilangan kemampuan membuahi. Studi menunjukkan bahwa spesimen sperma manusia yang terpapar EMR dalam lingkungan yang terkendali mengalami penurunan sperma progresif cepat dari 13% menjadi 9% dan penurunan sperma progresif lambat dari 44% menjadi 34% [14].

Radiasi memiliki beberapa efek, khususnya pada radiasi ponsel yang sering digunakan, dapat memberikan gejala-gejala seperti saat menggunakan ponsel sehari-hari dalam keadaan mendapatkan panggilan beberapa kali menunjukkan rasa hangat sekitar belakang telinga, sakit kepala, dan kelelahan. Namun, gejala tersebut dapat dikaitkan pula antara efek dari radiasi dan panasnya ponsel. Selain itu

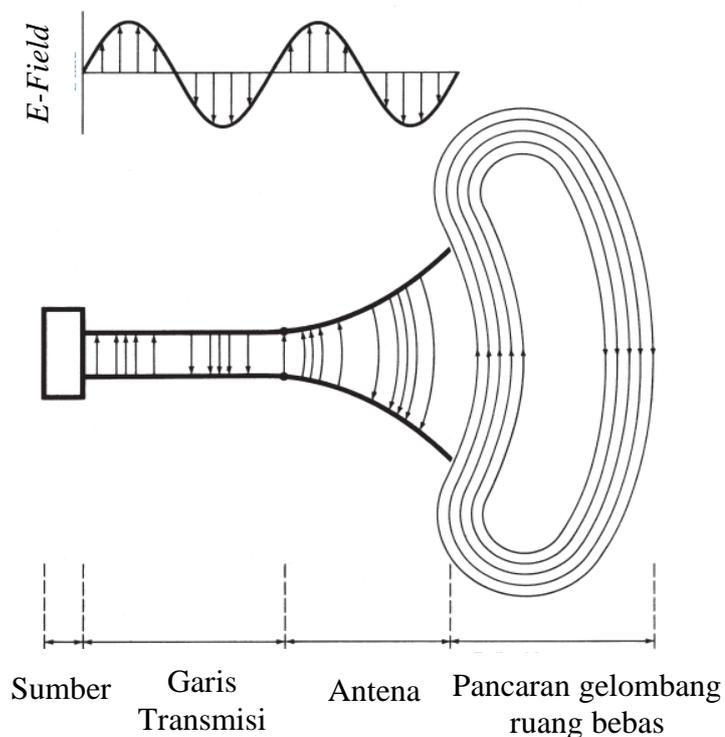
penggunaan ponsel berlebihan dapat menyebabkan ruam kulit dan sensasi terbakar. Pada efek lebih parahnya dari radiasi ponsel ini tidak ditemukannya penyebab dari kanker kulit. Bukti tentang efek radiasi ponsel pada penyakit kulit perlu ditekankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan evaluasi jangka panjang [15].

2.3 Antena

Antena telah ada selama ratusan tahun lebih. Selama ratusan tahun tersebut, komunikasi nirkabel menjadi semakin penting. Aplikasi komunikasi seluler pribadi memberikan kendala besar pada antena yang harus ditempatkan di ruang yang terbatas. Maka dari itu, penelitian oleh para insinyur nirkabel yang menganggap antena sebagai komponen kotak hitam sudah tidak digunakan kembali. Insinyur nirkabel modern perlu memiliki pemahaman dasar tentang teori antena. Antena adalah perangkat untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik. Antena mengubah arus listrik menjadi gelombang elektromagnetik (antena pemancar) dan sebaliknya (antena penerima) [16].

Antena didefinisikan oleh *Webster's Dictionary* sebagai "perangkat yang biasanya terbuat dari logam (seperti batang atau kawat) untuk memancarkan atau menerima gelombang radio." Standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* tentang Istilah Antena mendefinisikan antena sebagai "alat untuk memancarkan atau menerima gelombang radio." Dengan kata lain, antena adalah struktur peralihan antara ruang bebas dan perangkat pemandu. Perangkat pemandu atau jalur transmisi dapat berbentuk jalur koaksial atau pipa berongga (*waveguide*), dan digunakan untuk mengangkut energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke

antena, atau dari antenna ke penerima. Dalam kasus ini, dapat disebut antenna pemancar dan antenna penerima. Dalam kondisi ideal, energi yang dihasilkan oleh sumber harus ditransfer secara total ke resistansi radiasi R_r , yang digunakan untuk merepresentasikan radiasi oleh antenna. Namun, dalam sistem praktik, terdapat *conduction-dielectric loss* karena sifat kerugian dari saluran transmisi dan antenna, dan juga kerugian akibat pantulan (ketidakcocokan) pada antarmuka antara saluran dan antenna. Gelombang yang dipantulkan dari antarmuka diciptakan, bersama dengan gelombang yang bergerak dari sumber menuju antenna, pola interferensi konstruktif dan destruktif, yang disebut sebagai gelombang berdiri, di dalam saluran transmisi yang mewakili kantung konsentrasi dan penyimpanan energi, yang merupakan ciri khas perangkat resonansi [17]. Struktur antenna dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Antena Sebagai Perangkat Transisi [17]

Gelombang yang dipantulkan dari antarmuka tercipta, bersama dengan gelombang yang bergerak dari sumber menuju antena, pola interferensi konstruktif dan destruktif, yang disebut sebagai gelombang berdiri, di dalam saluran transmisi yang merepresentasikan sekumpulan konsentrasi dan penyimpanan energi, tipikal dari perangkat resonansi [17]. Kecepatan gelombang, v , dihubungkan dengan frekuensi, f , dan panjang gelombang, λ , dengan persamaan berikut ini:

$$v = \frac{\lambda}{f} \quad (2.1)$$

Persamaan tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan cahaya (gelombang EM) adalah sekitar 3×10^8 m/s di ruang bebas. Semakin tinggi frekuensinya, maka semakin pendek panjang gelombangnya. Keuntungannya adalah dapat melihat dengan jelas bagaimana fungsi berubah, bahkan pada skala yang sangat besar. Skala logaritmik banyak digunakan dalam teknik RF (*Radio Frequency*) dan komunitas antena karena sinyal yang kita hadapi berubah secara signifikan (lebih dari 1000 kali lipat pada banyak kasus) dalam hal besaran. Daya sinyal biasanya dinyatakan dalam dB (desibel) dan didefinisikan sebagai:

$$P(dBW) = 10 \log_{10} \frac{P(W)}{1W}, P(dBm) = 10 \log_{10} \frac{P(W)}{1mW} \quad (2.2)$$

Maka pada 100 watt memiliki nilai 20 dBW, dan hanya dinyatakan sebagai 20 dB dalam banyak kasus. 1 W sama dengan 0 dB atau 30 dBm dan 0,5W adalah -3 dB atau 27 dBm. Berdasarkan definisi ini, dapat dinyatakan parameter lain dalam dB.

Sebagai contoh, karena daya dihubungkan ke tegangan V dengan $P = V^2/R$ (menjadi $P \propto V^2$), maka tegangan dapat dikonversi ke dBV dengan:

$$V(\text{dBV}) = 20 \log_{10} \frac{V(V)}{1V} \quad (2.3)$$

Maka 3 kVolt adalah 70 dBV dan 0,5 Volt adalah -6 dBV (bukan -3 dBV) atau 54 dBmV [18].

Jenis antena lain dapat dilihat sebagai kombinasi dari antena dasar, seperti antena Yagy-Uda yang merupakan kombinasi antena *dipole* aktif dan *dipole* hubung singkat yang ditempatkan secara paralel, atau turunan dari salah satu antena dasar seperti antena *patch* mikrostrip dapat dilihat sebagai terdiri dari dua antena bukaan persegi panjang. Berikut merupakan beberapa jenis antena dasar yang digunakan [16]:

a. Antena Kawat

Antena kawat, linear atau melengkung, adalah beberapa antena tertua, paling sederhana, termurah, dan dalam banyak kasus paling serbaguna untuk banyak aplikasi. Antena kawat sudah tidak asing lagi bagi orang awam karena antena ini dapat dilihat di mana-mana, seperti pada mobil, gedung, kapal, pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, dan sebagainya. Ada berbagai bentuk antena kawat seperti kawat lurus (*dipole*), *loop*, dan *helix*. Antena *loop* tidak hanya berbentuk lingkaran, namun dapat pula berbentuk persegi panjang, persegi, elips, atau konfigurasi lainnya.

b. Antena *Dipole*

Antena *dipole* pendek terdiri dari dua kawat atau tabung melingkar yang memiliki ukuran jauh lebih pendek dari panjang gelombang dan ditempatkan di sepanjang sumbu yang sama. Antena *dipole* diberi tegangan pada celah kecil di antara dua bagian *dipole*. Hal ini dapat dicapai melalui saluran transmisi, yang menghubungkan celah tersebut ke sumber tegangan. *Dipole* pendek digunakan untuk sistem penyiaran radio pada frekuensi VHF dan di bawahnya. Antena *dipole* resonansi adalah antena di mana panjang dua kabel atau tabung bersama-sama adalah kelipatan (biasanya satu) dari setengah panjang gelombang. Antena *dipole* setengah panjang gelombang digunakan untuk aplikasi pita kecil pada frekuensi GHz rendah.

c. Antena *Loop*

Antena *loop* kecil dapat dianggap atau disebut juga sebagai antena *dipole* magnetik. Medan dari antena *loop* kecil mirip dengan antena *dipole* kecil dengan medan listrik dan medan magnet yang saling dipertukarkan. Antena *loop* digunakan seperti dalam sistem pencarian arah.

d. Antena *Aperture*

Antena *aperture* terdiri dari sebuah 'bukaan' di sekeliling logam. Bidang yang melintasi bukaan ini, yaitu *aperture*, memancar ke ruang bebas. *Horn* elektromagnetik adalah antena di mana bukaan yang memancar dicocokkan dengan sistem pemandu gelombang yang mendukung sinyal eksitasi. Pencocokan ini dilakukan dengan

membentuk transisi yang tepat dari struktur pengarah gelombang ke bukaan. Antena bukaan digunakan dalam rentang frekuensi GHz.

e. Antena Reflektor

Antena reflektor juga antena bukaan. Radiator utama (antena *dipole* atau *horn*) di titik fokus reflektor parabola menyinari reflektor. Bukaan yang dibentuk oleh reflektor ini kemudian memancar ke ruang bebas. Karena gelombang yang dipancarkan terkonsentrasi ke dalam sebuah pancaran, yang lebarnya berbanding terbalik dengan ukuran *aperture*, antena reflektor menawarkan cara yang nyaman untuk memusatkan radiasi. Hal ini memungkinkan komunikasi jarak jauh dalam rentang frekuensi GHz rendah dan tinggi. Antena reflektor parabola digunakan seperti untuk transmisi, penerimaan televisi satelit, dan radar (pendeteksian dan penjangkauan radio).

f. Antena *Array*

Antena dapat digabungkan dengan antena yang serupa atau jenis lain untuk membentuk antena *array*. Antena dalam *array* disebut sebagai elemen antena atau elemen *array* atau elemen. Kombinasi dari semua elemen disebut sebagai antena *array*. Umumnya, elemen-elemen yang sama diposisikan pada interval yang teratur pada sebuah garis (antena *array linier*) atau pada sebuah bidang (antena *array planar*). Dengan membentuk sebuah *array*, pancaran radiasi dapat dibuat dengan *beamwidth* yang kecil. Dengan mengontrol perbedaan fase antara elemen secara elektronik, pancaran dapat diarahkan secara elektronik ke arah yang berbeda tanpa memutar

antena secara fisik. Pengarahan atau pemindaian sinar secara elektronik ini membuat antenna *array* dinilai menarik.

g. Antena Modern

Antena yang dapat dianggap modern merupakan turunan dari antenna dasar yang akan dibahas secara rinci. Dari semua antenna modern, contohnya adalah antenna *monopole* yang dicetak, antenna F terbalik (IFA) dan antenna *patch* mikrostrip. Antenna-antenna ini dapat ditemukan di perangkat nirkabel saat ini.

Radiasi frekuensi radio (RF) dari gelombang elektromagnetik digunakan untuk frekuensi yang berada di antara 30 Hz dan 300 GHz. Beberapa jenis antenna memiliki frekuensi yang beragam antara 30 Hz – 300 GHz. Jenis antenna tersebut memiliki frekuensi yang telah ditetapkan oleh IEEE. Untuk frekuensi di atas 300 GHz, telah mencapai penggunaan inframerah, diikuti oleh cahaya tampak dari 400 THz ke atas.

2.4 Aluminium

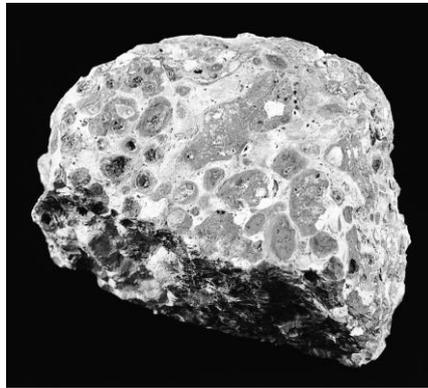
Aluminium adalah unsur ketiga yang paling melimpah di kerak bumi, dan merupakan unsur logam yang paling melimpah. Aluminium juga merupakan logam dengan densitas rendah ($2,6989 \text{ g/cm}^3$ pada 20°C), mudah dibentuk, dengan konduktivitas listrik dan termal yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Aluminium anil memiliki sifat-sifat seperti tegangan tarik utama, $R_m = 70\text{-}120 \text{ MPa}$; tegangan luluh, $R_e = 20\text{-}40 \text{ MPa}$; dan perpanjangan, $A_{11.3} = 30\text{-}45\%$. Aluminium mengkristal dalam kisi *face-centred cubic* (A1) yang membuat logam tersebut rentan terhadap pembentukan dingin dan panas. Sifat kekuatan aluminium

dan paduan aluminium dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin, namun dapat mengurangi sifat plastisnya [19].

Selama 50 tahun terakhir, aluminium menempati urutan kedua setelah besi dalam penggunaan industri. Aluminium tidak muncul dalam bentuk unsur; melainkan selalu dikombinasikan dalam senyawa kimia. Potensi paduan aluminium sebagai bahan teknik telah dikenali jauh sebelum menjadi logam industri. Pada awal tahun 1886, telah dinyatakan secara umum bahwa bidang yang paling berguna untuk logam ini akan ditemukan dalam paduannya, yang banyak di antaranya memiliki sifat-sifat yang berharga, namun aluminium memungkinkan untuk diproduksi dengan harga yang cukup murah sehingga dapat bersaing seperti dengan harga timah atau tembaga. Karena biayanya yang sangat tinggi, aplikasi awal aluminium sering kali terbatas pada barang-barang kecil atau bernilai tinggi yang terbuat dari paduan seperti Al-Ag yang digunakan dalam pembuatan alat-alat untuk pengamatan laut (seperti sekstan, atau alat untuk navigasi) dan balok keseimbangan di mana bobotnya yang ringan sangat menguntungkan [20].

Aluminium memiliki dua jenis, antara lain aluminium primer dan sekunder. Aluminium sekunder disebut sebagai '*scrap* lama' di mana logam telah didaur ulang dari bahan yang sebelumnya dimiliki konsumen, dan sebagai '*scrap* baru' jika logam didaur ulang dari proses fabrikasi industri. Berdasarkan angka tahun 2007, aluminium sekunder menyumbang sekitar 60% dari logam yang diproduksi di Amerika Utara, di mana 42% dari logam tersebut merupakan *scrap* lama dan 58% *scrap* baru. Di seluruh dunia, angka-angka yang dilaporkan menunjukkan tren yang sama meskipun diperkirakan jumlah aluminium sekunder lebih sedikit, yaitu sekitar

40% dari total produksi [20]. Berikut merupakan bentuk bijih dari bauksit yang digunakan untuk melakukan ekstraksi aluminium pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bijih Bauksit [21]

Aluminium memiliki banyak sifat yang berguna. Ringan, hanya sepertiga dari densitas baja, dan seperti tembaga, aluminium memiliki konduktivitas panas serta kelistrikan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi yang sangat baik di sebagian besar lingkungan, dan dapat dengan mudah dilemparkan atau dibuat menjadi berbagai macam barang konsumen. Bauksit memiliki nilai yang tinggi untuk didaur ulang karena peleburan ulang besi tua hanya membutuhkan lima persen dari total energi yang dibutuhkan untuk mengekstraksi logam primer dalam jumlah yang sama dari bijih bauksit [20]. Berikut merupakan contoh bentuk produk dari aluminium yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh Bentuk Produk Aluminium [22]

Aluminium memiliki banyak seri, seri tersebut ditentukan dengan paduan yang diberikan. Salah satu seri aluminium yaitu Aluminium AA1100-O yang merupakan paduan aluminium seri 1000, khususnya paduan aluminium 1100. AA-1100-O adalah aluminium murni komersial dengan kandungan aluminium minimum 99,0% dan dikenal karena sifat pembentukannya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, dan ketahanan terhadap korosi. Paduan aluminium ini bersifat lembut, berkekuatan rendah, dan tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Aluminium AA1100-O sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pembengkokan, pemintalan, menggambar, *stamping*, dan pembentukan gulungan, seperti penukar panas, peralatan kimia, peralatan penanganan makanan, trim dekoratif, dan peralatan pencahayaan. Kode "O" pada AA1100-O mewakili kondisi anil, yang menunjukkan bahwa paduan tersebut telah dianil sepenuhnya untuk mendapatkan *temper* atau tempa yang paling lunak [23]. Berikut merupakan tabel komposisi kimia yang terkandung dari aluminium seri AA1100-O yang dapat dilihat dengan menggunakan teknik bernama *Atomic Emission Spectrometry* (AES) pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia AA1100-O [24]

Unsur	Kandungan (%)
Al	<i>Balance</i>
Si	0,09
Fe	0,41
Cu	0,07
Mn	0,03

Zn	0,05
Mg	<0,005

Sifat non-magnetik yang dimiliki aluminium digunakan untuk mengurangi paparan gelombang elektromagnetik. Sebagai contoh, pengaruh aluminium terhadap kadar *malondialdehyde* (MDA) otak kecil dari tikus jantan dewasa yang terpapar radiasi elektromagnetik (EMR) dari ponsel yang memiliki frekuensi sebesar 1800MHz dan SAR 0.6W/kg, dapat memberikan pengurangan radiasi pada tikus [25]. Berikut merupakan tabel untuk *material properties* dari aluminium AA1100-O pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Material Properties* AA1100-O [26]

<i>Properties</i>	AA1100-O
<i>Density</i> (g/cc)	2,71
<i>Melting temperature</i> (°C)	643
<i>Thermal conductivity</i> (W/m.K)	222
<i>Specific heat</i> (J/kg.K)	904
<i>Coefficient of thermal expansion</i> (µm/m.°C)	23,6
<i>Young's modulus</i> (GPa)	68,9
<i>Poisson's ratio</i>	0,33
<i>Tensile Yield strength</i> (MPa)	34
<i>Tensile ultimate strength</i> (MPa)	90

Aluminium juga digunakan dalam *smartphone*, di mana material tersebut diletakkan pada bodi dari *smartphone* itu sendiri. Contoh penggunaan aluminium

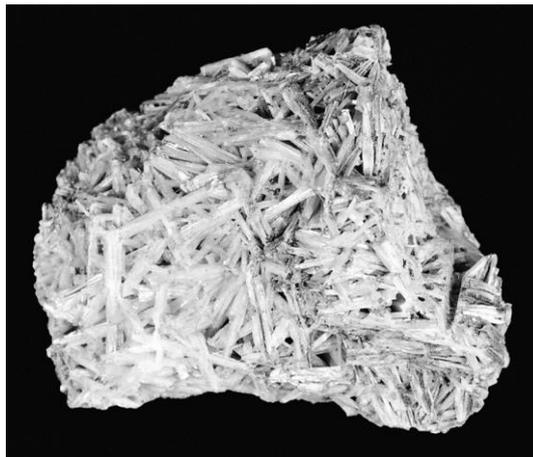
pada *smartphone* salah satunya berada pada Samsung Galaxy S6 dan Galaxy S6 Edge, di mana aluminium yang digunakan adalah aluminium *alcoa* 6013, setingkat dengan aluminium yang biasa digunakan untuk membuat pesawat. Aluminium *alcoa* 6013 memiliki sifat lebih kuat dari aluminium standar, memungkinkan desain yang lebih tipis, lebih ringan, dan lebih ramping. Dikembangkan oleh para ahli metalurgi *Alcoa Technical Center*, paduan ini menggabungkan kekuatan dan ketahanan korosi yang tinggi untuk produk yang membutuhkan daya tahan yang unggul [27].

2.5 Timbal

Timbal adalah logam yang memiliki makna historis yang luas. Saat ini timbal merupakan komoditas yang sangat matang dan dengan demikian menunjukkan penurunan intensitas penggunaan, dengan penggantian yang luas dalam banyak penggunaan tradisionalnya. Sebagian besar penggantian tersebut merupakan hasil dari kesadaran yang tinggi akan dampak timbal terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Karena densitasnya yang tinggi dan kemudahannya untuk dibentuk, timbal digunakan sebagai proyektil dalam peperangan, awalnya untuk katapel, tetapi setelah penemuan bubuk mesiu dan senjata api, timbal lebih utama digunakan untuk pembuatan amunisi. Produksi peluru timbal dengan menggunakan menara tinggi untuk membentuk bentuk bola kecil merupakan industri yang signifikan hingga abad ke-19 [28].

Sebagai logam murni, timbal bersifat lunak dan mudah dibentuk dengan kekuatan mekanis yang rendah. Hal ini merupakan keuntungan dalam beberapa

aplikasi seperti tahan cuaca, tetapi salah satu konsekuensinya adalah bahwa di bawah tekanan, logam akan mudah berubah bentuk untuk meringankan tekanan tersebut, dan hal ini dapat terjadi dalam jangka waktu yang lama. Memang, timbal dapat merayap karena beratnya sendiri, dan untuk menghindari efek ini, tegangan tarik yang aman adalah $1,7 \text{ MN/m}^2$ dan dalam kompresi, $2,75 \text{ MN/m}^2$. Timbal dapat dipadukan untuk meningkatkan sifat kekuatannya, dan antimon biasanya digunakan sebagai pengeras [28]. Berikut merupakan bentuk bijih dari kerisit, yang merupakan bijih yang sering digunakan untuk melakukan ekstraksi timbal yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bijih Kerisit [21]

Senyawa timbal juga digunakan untuk berbagai penstabil plastik untuk mengatasi degradasi plastik oleh panas dan radiasi UV. Hal ini diterapkan pada *polyvinyl chloride* (PVC), yang di mana timbal digunakan untuk aplikasi konstruksi seperti pelapis dinding rumah, dan produk air hujan. Degradasi menyebabkan penguraian dan hilangnya HCl dari struktur polimer, yang pada akhirnya menyebabkan perubahan warna dan kerapuhan. Sejumlah garam logam dasar,

terutama timbal, seng, timah, dan kadmium, efektif dalam ikatan HCl dan mencegah pembentukan HCl bebas. Garam timbal biasanya berupa timbal sulfat tri-dasar, fosfat, atau stearat [28]. Timbal merupakan salah satu material yang dapat pula membantu melindungi dari radiasi elektromagnetik. Timbal sering digunakan untuk pelapis dinding ruangan yang menggunakan gelombang elektromagnetik (seperti ruang radiologi), sebagai pengisi dinding penyerap radiasi, dan menjadi bagian dari sel baterai kendaraan [29]. Berikut merupakan tabel untuk *material properties* dari timbal murni L50042 *sand cast* yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 *Material Properties L50042 Sand Cast* [26]

<i>Properties</i>	L50042 Sand Cast
<i>Density (g/cc)</i>	11,36
<i>Melting temperature (°C)</i>	328
<i>Thermal conductivity (W/m.K)</i>	35
<i>Specific heat (J/kg.K)</i>	129
<i>Coefficient of thermal expansion (µm/m.°C)</i>	29,3
<i>Young's modulus (GPa)</i>	14
<i>Poisson's ratio</i>	0,431
<i>Tensile ultimate strength (MPa)</i>	12,5

Logam timbal dan senyawanya dikenal sebagai logam berat yang beracun, namun toksisitas akut timbal sebenarnya cukup rendah. Logam timbal dan senyawa timbal anorganik tidak menyebabkan kematian setelah paparan tunggal ketika diuji hingga nilai batas maksimum 5.000 mg/kg berat badan melalui konsumsi atau penghirupan pada tingkat hingga 5 mg/L di udara. Perhitungan teoritis menyatakan

bahwa tingkat kematian pada manusia apabila konsumsi timbal mencapai 22 g dan ditetapkan bahwa perkiraan tingkat udara kandungan timbal sebesar 100 mg/m³ sebagai tingkat yang berbahaya bagi kesehatan. Timbal dan senyawanya secara umum tidak menyebabkan iritasi kulit atau mata dan juga tidak memiliki sifat yang berbahaya pada kulit atau paru-paru. Profil toksisitas akut timbal yang relatif sederhana setidaknya sebagian disebabkan oleh rendahnya tingkat penyerapan timbal dari saluran pencernaan. Timbal dalam dosis besar yang diberikan dalam dosis tunggal biasanya akan diekskresikan dalam tinja dengan penyerapan sistemis yang minimal [30].

Timbal yang tidak dipadukan memiliki sifat mekanik yang relatif buruk sehingga, selain memiliki kekuatan tarik utama yang rendah (<12 MPa), timbal juga memiliki tegangan luluh yang sangat rendah (<4 MPa); jauh lebih rendah dibandingkan dengan timah, sebagai contoh. Titik leleh timbal yang rendah mengalami kristalisasi ulang dan pertumbuhan butiran pada suhu kamar dan rentan terhadap *creep* pada tekanan di atas sekitar 2 MPa (sekitar 15% dari UTS), yang sangat rendah. Oleh karena itu, meskipun timbal dengan kemurnian lebih dari 99,99% tersedia secara komersial (BS EN 12659), timbal ini tidak digunakan kecuali jika memerlukan ketahanan korosinya yang unggul. Timbal juga rentan terhadap kelelahan, terutama karena siklus termal, dan ini adalah mekanisme kegagalan utama dalam timbal murni dan timbal paduan [31]. Berikut merupakan tabel komposisi kimia dari timbal murni L50042 *sand cast* yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia L50042 *Sand Cast* [26]

Unsur	Kandungan (%)
Pb	99,94
Bi	0,05
Fe	0,002
Cu	0,004
Ag	0,0015
Zn	0,001
As + Sb + Sn	0,002

2.6 Tembaga

Tembaga paling sering ditemukan di kerak bumi sebagai mineral tembaga sulfida dan tembaga sulfida, seperti kalkopirit (CuFeS_2) dan kalkosit (Cu_2S). Konsentrasi mineral-mineral ini dalam tubuh bijih adalah rendah. Bijih tembaga pada umumnya mengandung 0,5% Cu hingga 1 atau 2% Cu (tambang bawah tanah). Logam tembaga murni sebagian besar diproduksi dari bijih-bijih ini dengan cara pemekatan, peleburan, dan pemurnian. Sumber utama ketiga dari tembaga adalah tembaga bekas dan paduan tembaga. Produksi tembaga dari benda-benda bekas yang didaur ulang adalah 10 atau 15% dari produksi tambang. Selain itu, terdapat peleburan ulang/pemurnian ulang yang cukup besar dari barang bekas yang dihasilkan selama proses fabrikasi dan manufaktur. Total produksi tembaga pada tahun 2010 (ditambang dan dari barang bekas) adalah sebesar ~20 juta ton [32].

Ekstraksi tembaga cenderung merupakan proses yang tidak membahayakan lingkungan dan mengonsumsi sedikit energi dan air. Hal ini disebabkan peleburan

dengan oksigen yang hemat energi dan polusi, ekstraksi pelarut/pemisahan dengan cara *electrowinning*, peningkatan sirkulasi ulang air, dan peningkatan daur ulang dari sisa-sisa penggunaan akhir.

Tembaga adalah konduktor listrik dan panas yang sangat baik, dan tahan terhadap korosi. Tembaga mudah dibuat menjadi kawat, pipa, dan bentuk lainnya, serta mudah disambung. Konduktivitas listrik, konduktivitas termal, dan ketahanan terhadap korosi adalah sifat-sifatnya yang paling dieksploitasi. Kadar bijih tembaga biasanya terlalu rendah (0,5 – 2% Cu) untuk peleburan langsung secara ekonomis. Pemanasan dan peleburan sejumlah besar batuan yang sebagian besar tidak berharga akan membutuhkan terlalu banyak energi dan kapasitas tungku yang terlalu besar. Karena alasan ini, semua bijih yang ditujukan untuk pemrosesan pirometalurgi dipisahkan secara fisik sebelum dilebur. Produk dari langkah ini adalah konsentrat, yang mengandung ~30% Cu (hampir semuanya sebagai mineral sulfida). Cu biasa diekstraksi dari bijih-bijih dengan pencucian langsung dari bijih yang dihancurkan atau digiling [32]. Berikut merupakan bentuk bijih dari kalkopirit, yaitu bijih yang sering digunakan untuk melakukan ekstraksi tembaga yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bijih Kalkopirit [33]

Tembaga adalah logam yang sangat ulet, meskipun tidak terlalu keras atau kuat. Namun, kekuatan dan kekerasannya dapat ditingkatkan secara signifikan dengan pengerjaan dingin (proses pengerjaan logam di bawah suhu kristalisasi) karena produksi kristal memanjang dengan struktur kubik berpusat muka yang sama seperti pada tembaga anil yang lebih keras. Gas-gas umum (termasuk oksigen, nitrogen, karbon dioksida, dan sulfur dioksida), yang memiliki dampak signifikan pada karakteristik mekanis dan elektrik dari logam yang dipadatkan, tidak larut dalam tembaga cair. Dari segi konduktivitas termal dan listrik, logam murni ini berada di urutan kedua setelah perak. Isotop stabil tembaga-63 dan tembaga-65 membentuk sebagian besar tembaga alami [32].

Pada *Printed Circuit Boards* (PCB) yang diambil dari beberapa ponsel, terdapat konsentrasi rata-rata logam yang terdeteksi. Hasilnya menunjukkan bahwa tembaga adalah logam dengan konsentrasi tertinggi dalam PCB setiap sampel ponsel. Nilai konsentrasi tembaga bervariasi dari 206 g/kg hingga 451,4 g/kg untuk semua sampel PCB. Karena tembaga adalah salah satu logam dasar yang paling banyak digunakan dalam perangkat elektronik karena konduktivitasnya yang tinggi, nilai konsentrasi tembaga yang tinggi dalam sampel PCB sudah diperkirakan dengan baik [34].

Tembaga memiliki banyak jenis, salah satunya adalah jenis UNS C11000, juga dikenal sebagai tembaga *Electrolytic Tough Pitch* (ETP), adalah paduan tembaga dengan konduktivitas tinggi dengan konduktivitas minimum 100% IACS (*International Annealed Copper Standard*). Dalam bentuk tembaga tempa memiliki kandungan tembaga minimum yang ditetapkan sebesar 99,3% atau lebih tinggi, termasuk beberapa kadar yang mengandung minimum 99,99% Cu. Sementara itu

dalam bentuk tembaga tuang memiliki kandungan tembaga minimum yang ditetapkan sebesar 98,5% atau lebih tinggi, termasuk satu tingkat dengan kandungan 99,9% Cu. Penggunaan utamanya adalah produk listrik atau produk yang membutuhkan konduktivitas termal yang sangat tinggi [35]. Berikut merupakan persentase komposisi kimia dari tembaga ETP C11000 yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Komposisi Kimia ETP C11000 [26]

Unsur	Kandungan (%)
Cu	99,9
O	0,04

Tembaga efektif dalam mengurangi radiasi dari telepon dan perangkat pemancar nirkabel lainnya. Tembaga adalah bahan pilihan yang paling dapat diandalkan ketika melindungi dari frekuensi radio karena kemampuannya untuk menyerap gelombang magnetik dan radio. Bahan ini juga sangat efektif dalam meredam gelombang magnetik dan listrik. Sebagai contoh, jaring tembaga memiliki kemampuan untuk melindungi dari sebagian besar radiasi frekuensi radio dengan panjang gelombang dan radiasi EMF lainnya. Tembaga telah digunakan selama ribuan tahun untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri dan virus, sehingga aman digunakan tanpa efek berbahaya bagi manusia atau lingkungan [36]. Berikut merupakan tabel untuk *material properties* dari tembaga ETP C11000 yang dapat dilihat pada Tabel 2.7.

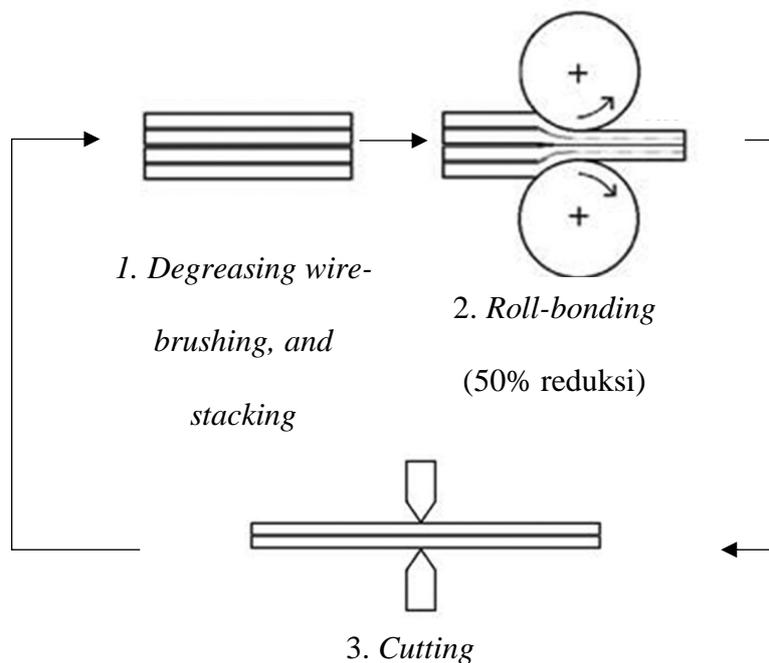
Tabel 2.7 *Material Properties* ETP C11000 [26]

<i>Properties</i>	ETP C11000
<i>Density (g/cc)</i>	8,89
<i>Melting temperature (°C)</i>	1065
<i>Thermal conductivity (W/m.K)</i>	388
<i>Specific heat (J/kg.K)</i>	385
<i>Coefficient of thermal expansion (µm/m.°C)</i>	17
<i>Young's modulus (GPa)</i>	115
<i>Poisson's rasio</i>	0,33
<i>Tensile Yield strength (MPa)</i>	69
<i>Tensile ultimate strength (MPa)</i>	220

2.7 *Accumulative Roll Bonding (ARB)*

Accumulative Roll-Bonding (ARB) adalah sejenis proses *Severe Plastic Deformation (SPD)* untuk membuat material logam berstruktur ultra nano. Telah diklarifikasi bahwa logam dan paduan berstruktur nano yang banyak, yang terdiri dari *Ultra-Fine Grain (UFG)* dengan ukuran butiran rata-rata beberapa ratus nanometer atau kristal nano dengan ukuran butiran rata-rata beberapa puluh nanometer, dapat dibuat dengan deformasi plastis hingga regangan yang sangat tinggi (di atas regangan ekuivalen logaritmik 4 ~ 5), yang sering disebut SPD. Di antara proses SPD, ARB menguntungkan untuk produksi bahan lembaran yang berkelanjutan, karena pada prinsipnya menggunakan deformasi penggulangan. Dalam skala laboratorium, ARB telah diaplikasikan pada berbagai jenis logam dan

paduan dan telah berhasil menghasilkan lembaran besar yang memiliki struktur nano [37]. ARB merupakan metode SPD yang diusulkan oleh Saito bersama dengan yang lainnya untuk mencapai regangan sangat tinggi pada material logam yang banyak dan besar tanpa mengubah dimensi spesimen [38]. Skema proses ARB yang di mana dilakukan secara berulang dari langkah pertama sampai langkah ketiga dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema Siklus ARB [39]

Dalam proses ARB, bahan yang digulung dipotong, ditumpuk, dan digulung lagi. Lembaran yang ditumpuk diikat selama penggulangan (*roll bonding*), sehingga membentuk bagian curah. Proses ini harus dilakukan pada suhu moderat di bawah suhu rekristalisasi karena rekristalisasi menghilangkan regangan yang terakumulasi. Di sisi lain, pemrosesan pada suhu yang relatif rendah akan menghasilkan keuletan dan kekuatan ikatan yang tidak memadai. Teknik

pengikatan gulungan ini telah banyak digunakan untuk membuat *Metal Matrix Composites* (MMC) karena efektivitas dan efisiensinya [38]. Proses ini dapat menimbulkan regangan plastis yang sangat tinggi tanpa perubahan geometris, jika pengurangan ketebalan dipertahankan hingga 50% di setiap lintasan penggulangan, karena peningkatan lebar dapat diabaikan dalam penggulangan lembaran. Regangan yang dicapai tidak terbatas karena pada prinsipnya waktu pengulangan tidak terbatas. Deformasi yang besar dimungkinkan oleh proses ARB. Ketika reduksi adalah 50% per siklus, ketebalan strip awal setelah n siklus adalah [40]:

$$t = \frac{t_0}{2^n} \quad (2.4)$$

di mana t_0 ketebalan awal strip. Pengurangan total r_t setelah n siklus adalah [40]:

$$r_t = 1 - \frac{t}{t_0} = 1 - \frac{1}{2^n} \quad (2.5)$$

Dengan mengasumsikan kriteria leleh *von-Mises* dan kondisi regangan bidang (tidak ada penyebaran lateral), regangan plastis ekuivalen ϵ dinyatakan dengan [40]:

$$\epsilon = \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{1}{2} \right) \right\} \times n = 0,80n \quad (2.6)$$

Saat ini, pemrosesan ARB telah digunakan untuk menghasilkan material nano-komposit dengan kekuatan tinggi. Dalam kasus ini, nanopartikel disebarkan secara seragam di antara *strip*, yang kemudian ditumpuk, diikat dengan kawat baja dan kemudian digulung pada temperatur yang berbeda dan menggunakan berbagai

persentase reduksi per siklus ARB. Untuk mencapai distribusi nanopartikel penguat yang seragam dalam matriks, prosedur di atas diulangi hingga jumlah siklus yang berbeda tergantung pada bahan penyusunnya. Secara umum, peningkatan jumlah siklus meningkatkan distribusi nanopartikel dalam matriks logam dan kualitas ikatan antara penguat dan matriks, yang mengarah pada peningkatan sifat mekanik akhir [38].

Selama proses *Accumulative Roll Bonding* (ARB), material dipotong menjadi dua, bagian-bagiannya ditumpuk di atas satu sama lain, dan kemudian digulung lagi untuk mencapai pengurangan ketebalan sebesar 50%. Diketahui bahwa deformasi plastis yang besar dapat memberikan efek yang cukup besar pada struktur mikro dan sifat logam dan paduan. Sebagai contoh, penggulangan atau penarikan yang intens disertai dengan penyempurnaan struktur mikro dan pembentukan sel, sub-butiran, dan fragmen, yang dapat meningkatkan kekuatan dan meningkatkan sifat lainnya. Bahkan dalam kondisi laboratorium dimungkinkan untuk menghasilkan lembaran *ultrafine-grained* (UFG) yang cukup besar untuk pengujian mekanis menggunakan ARB [39].

2.8 Case Smartphone Anti-Radiation (CSAR)

Medan Elektromagnetik (EMF) buatan manusia dan hubungannya memiliki berbagai dampak terutama masalah kesehatan, khususnya *Electro-Hyper-Sensitivity* (EHS). Berbagai praktik dilakukan menggunakan perisai logam yang disarankan oleh perusahaan swasta dan individu untuk perlindungan terhadap EMF. Perusahaan tersebut menyarankan strategi penghindaran sebagai pilihan yang lebih

aman daripada ruang permanen atau pelindung pakaian selama tidur yang dikombinasikan dengan penghindaran eksposur yang baik selama sisa hari itu [41].

EMF dapat bersumber dari alam dan buatan manusia, seperti *smartphone*. Paparan EMF pada manusia semakin meningkat dengan kehadiran *smartphone*. *Casing smartphone* anti-radiasi dirancang untuk memblokir radiasi ponsel atau EMF yang dipancarkan oleh ponsel. *Casing* ini bekerja dengan menggunakan bahan pelindung yang menghalangi radiasi yang berasal dari ponsel. Merek-merek *casing* ponsel anti radiasi seperti *Defender Shield*, *Safe Sleeve*, *Shield Your Body*, dan lainnya mengklaim dapat menghilangkan hingga 99% radiasi berbahaya yang berasal dari ponsel. Namun, klaim ini tidak sepenuhnya benar karena tes laboratorium hanya menguji bahan pelindung dan bukan *casing* pelindung itu sendiri [42]. Berikut merupakan contoh *casing* pelindung yang telah beredar pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Casing Pelindung Defender Shield* (a) [43], *Safe Sleeve* (b) [44], *Shield Your Body* (c) [45]

Pada nilai SAR, telah ditentukan bahwa pengujian dilakukan dengan waktu selama 6 menit atau 360 detik. Hal ini didasarkan pada standarisasi dari *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) tahun

1998 dan 2020, di mana dalam periode 6 menit tersebut merupakan periode perubahan dari naik-turunnya nilai SAR ponsel yang kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan hasil akhirnya [46]. ICNIRP menilai bahwa efek jangka panjang dari paparan radiasi tersebut sulit untuk diketahui dibandingkan dengan efek langsung. Perlu adanya kombinasi penelitian yang dilakukan untuk mengetahui efek panjang tersebut, hal ini dapat dilihat pada beberapa penelitian kebanyakan menggunakan objek hewan untuk melakukan pengujian paparan radiasi dibandingkan dengan manusia karena sulitnya untuk merata-ratakan efek paparan [47].

2.9 Permeabilitas magnetik

Bahan elektronik yang dipilih karena memiliki nilai tertentu dari permeabilitas relatif, digunakan secara luas dan memiliki ketergantungan frekuensi yang melekat. Menurut definisi, permeabilitas adalah turunan dari magnetisasi M terhadap medan magnet. M adalah jumlah (vektorial) dari semua momen *dipol* magnet per satuan volume. Perubahan magnetisasi akibat gerakan dinding domain dihitung dengan menggunakan persamaan osilator harmonik yang hilang. Perubahan magnetisasi karena rotasi koheren dihitung dengan menggunakan persamaan torsi elektromagnetik, biasanya dengan istilah *Gilbert* atau *Landau-Lifshitz Loss* yang ditambahkan untuk magnet [48].

Batas butir berkategori *fine grain* dinilai mencapai dispersi frekuensi. Hal ini yang menyebabkan batas butir berbanding lurus dengan hasil permeabilitas magnetik. Peningkatan *return loss* dan *bandwidth* juga merupakan bukti dari hasil *fine grain* dan peningkatan permeabilitas magnetik pada pita frekuensi GHz [49].

Untuk penyerap gelombang elektromagnetik (EM) monolayer, kemampuan menyerap gelombang EM berkaitan dengan permeabilitas kompleks yaitu:

$$\mu = \mu' - j\mu'' \quad (2.7)$$

ketebalan disimbolkan d dari penyerap radiasi, dan panjang gelombang λ dari medan EM yang diterapkan melalui rumus berikut:

$$RL \approx 20 \log_{10} \left| \left(\frac{j2\pi\mu d}{\lambda} - 1 \right) \left(\frac{j2\pi\mu d}{\lambda} + 1 \right) \right| \quad (2.8)$$

di mana RL adalah *return loss* dengan satuan dB. Rumus ini valid jika $d \ll \lambda$. RL mencapai nilai minimum ketika kondisi pencocokan $j2\pi\mu d/\lambda = 1$ terpenuhi. Kondisi pencocokan berlaku untuk $d = d_m = \lambda/2\pi\mu'' = c/2\pi f_m \mu''(f_m)$, di mana d_m adalah pencocokan ketebalan, c adalah kecepatan cahaya, f_m adalah pencocokan frekuensi, dan $\mu''(f_m)$ menunjukkan nilai μ'' pada frekuensi f_m . Material dikatakan penyerap yang sangat baik ketika kondisi pencocokan terpenuhi, yaitu ketika $d = d_m$, $f = f_m$, dan RL mencapai nilai minimum (RL) min 36 dB [49].

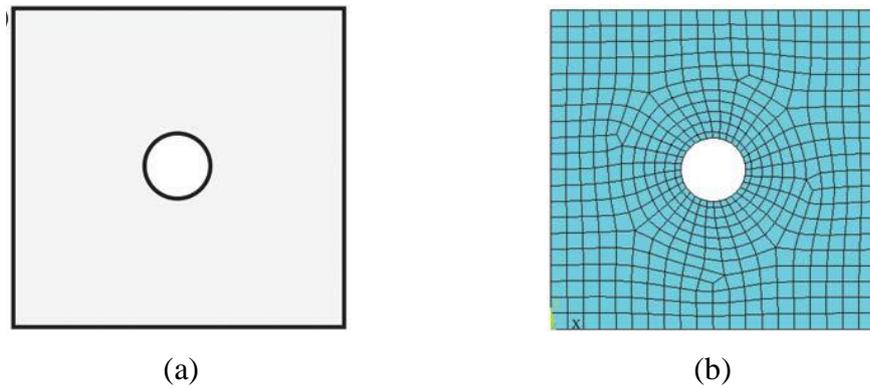
2.10 Finite Element Analysis (FEA)

Metode *Finite Element Analysis* (FEA), diperkenalkan oleh Turner dan lainnya (1956), merupakan teknik komputasi yang kuat untuk solusi perkiraan untuk berbagai masalah teknik "dunia nyata" yang memiliki sifat domain kompleks

yang terbatas pada kondisi batas umum. FEA menjadi langkah penting dalam desain atau pemodelan fenomena fisik dalam berbagai disiplin ilmu teknik yang melibatkan variabel-variabel. Fenomena fisik biasanya terjadi pada suatu kontinum materi (padat, cair, atau gas) yang melibatkan beberapa variabel medan. Variabel-variabel medan tersebut bervariasi dari satu titik ke titik lainnya, sehingga memiliki jumlah solusi yang tak terbatas dalam domain tersebut [50].

Dasar dari FEA bergantung pada dekomposisi domain menjadi sejumlah sub-domain (elemen) yang terbatas, yang mana solusi perkiraan sistematisnya dibangun dengan menerapkan metode variasi atau metode residu tertimbang. Pada dasarnya, FEA mereduksi masalah menjadi sejumlah variabel yang tidak diketahui dengan membagi domain menjadi beberapa elemen dan menyatakan variabel bidang yang tidak diketahui dalam bentuk fungsi perkiraan yang diasumsikan dalam setiap elemen. Fungsi-fungsi ini (juga disebut fungsi interpolasi) didefinisikan dalam bentuk nilai variabel bidang pada titik-titik tertentu, yang disebut sebagai *node*. *Node* biasanya terletak di sepanjang batas elemen, dan menghubungkan elemen-elemen yang berdekatan. Kemampuan untuk mendiskritisasi domain tak beraturan dengan elemen hingga membuat metode ini menjadi alat analisis yang berharga dan praktis untuk solusi masalah batas, awal, dan nilai eigen yang muncul dalam berbagai disiplin ilmu teknik [50]. Untuk melakukan FEA, secara umum diperlukan prosedur berikut ini [6]:

- a. Membagi model CAD/geometrik menjadi beberapa bagian untuk membuat "*mesh*" (kumpulan elemen dengan node, dapat dilihat pada Gambar 2.8).



Gambar 2.8 (a) Pelat berlubang (model CAD) (b) Diskritisasi FEM (*mesh*) [6].

- b. Menjelaskan perilaku besaran-besaran fisis pada setiap elemen.
- c. Menghubungkan (merakit) elemen pada *node* untuk membentuk sistem persamaan yang mendekati untuk keseluruhan model.
- d. Menerapkan beban dan kondisi batas (misalnya, untuk mencegah model bergerak).
- e. Menyelesaikan sistem persamaan yang melibatkan kuantitas yang tidak diketahui pada *node* (misalnya, perpindahan).
- f. Menghitung besaran yang diinginkan (misalnya regangan dan tegangan) pada elemen atau *node*.

2.11 ANSYS

ANSYS merupakan salah satu *software* atau perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari beberapa *software* analisis yang lain yaitu Nastran, CATIA, Fluent, dan yang lain. ANSYS memiliki banyak kemampuan analisis elemen seperti analisis statis linier sederhana hingga analisis dinamis transien non-linear yang

kompleks. ANSYS merupakan produk dari Perusahaan ANSYS Inc., yang digunakan untuk simulasi dan desain teknik dari produk 3D dengan menggunakan metode *Finite Elements Analysis* (FEA). ANSYS biasa digunakan untuk simulasi teknik seperti *Computational Fluid Dynamics* (CFD), distribusi temperatur, kekuatan struktur, dan lain-lain [51].

Berbagai solusi simulasi *finite element* yang komprehensif dan disediakan oleh perusahaan CAE terkemuka, ANSYS *workbench* adalah platform yang mudah digunakan yang dirancang untuk mengintegrasikan secara mulus rangkaian teknologi simulasi teknik canggih ANSYS, Inc. Platform ini menawarkan koneksi dua arah ke sistem CAD utama. Lingkungan *workbench* diarahkan untuk meningkatkan produktivitas dan kemudahan penggunaan di antara tim teknik. Perangkat ini telah berkembang sebagai alat yang sangat diperlukan untuk pengembangan produk di semakin banyak perusahaan, dan digunakan di berbagai bidang teknik [52].

ANSYS *workbench* merupakan salah satu perangkat lunak berbasis CAE yang memiliki beberapa sistem analisis, di antaranya adalah sistem analisis *static structural* dan *transient structural* yang banyak digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur benda geometris terhadap proses fisik seperti gaya, tekanan, dan tumbukan. Keuntungan menggunakan ANSYS *workbench*, antara lain memudahkan, mempersingkat waktu, dan meringankan biaya proses karena tidak perlu membuat alat dan bahan ujinya. Analisis struktur statis digunakan untuk perhitungan linear sederhana serta perhitungan non-linear material, geometris dan kontak yang kompleks. Hasil analisis membantu mengidentifikasi area yang lemah dengan kekuatan dan daya tahan yang rendah [53].

Analisis linier dilakukan jika sebuah struktur diharapkan menunjukkan perilaku linier. Deformasi dan kemampuan menahan beban dapat ditentukan dengan menggunakan salah satu tipe analisis yang tersedia di ANSYS, statis atau dinamis, tergantung dari sifat pembebanan yang diberikan. Jika pembebanan yang diterapkan ditentukan sebagai bagian dari solusi untuk stabilitas struktur, analisis tekuk dilakukan. Jika strukturnya adalah mengalami pembebanan termal, analisis disebut sebagai termo mekanik. Perilaku struktur di bawah pembebanan statis dapat dianalisis dengan menggunakan berbagai jenis elemen dalam ANSYS. Sifat struktur menentukan jenis elemen yang digunakan dalam analisis. Struktur diskrit atau berbingkai cocok untuk pemodelan dengan elemen tipe batang dan balok. Namun, pemodelan struktur kontinu biasanya membutuhkan model tiga dimensi dengan elemen solid [50].

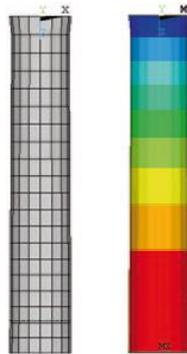
Stress dan *strain* menjadi salah satu parameter penting dalam proses simulasi statis. Perhitungan *strain* dapat dilakukan berdasarkan persamaan modulus elastisitas dengan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2.8)$$

Namun tegangan yang diberikan di dalam FEA memiliki arah, sehingga persamaan (2.8) menjadi kurang tepat untuk digunakan dalam kalkulasi, maka digunakan *software* FEA untuk mengubah data vektor tegangan dan skalar modulus elastisitas yang diketahui menjadi matriks yang dapat digunakan untuk proses perhitungan dengan persamaan:

$$[k]_e \{\delta\}_e = \{F\}_e \quad (2.8)$$

Pada jenis pembebanan dan kondisi geometris tertentu, jenis analisis tiga dimensi dapat diidealkan sebagai analisis dua dimensi. Jika komponen hanya mengalami pembebanan dalam bidang dan ketebalannya kecil terhadap dimensi panjang lainnya, maka diidealkan sebagai kondisi tegangan bidang. Jika komponen dengan penampang yang seragam panjangnya dalam arah kedalaman dan mengalami pembebanan yang seragam di sepanjang arah kedalaman, maka diidealkan sebagai kondisi tegangan bidang. Jika komponen memiliki penampang melingkar dan mengalami pembebanan seragam dan konsentris, maka komponen tersebut memiliki sumbu simetri. Jika komponen struktur tipis mengalami pembebanan lateral, elemen pelat dan cangkang cocok untuk analisis [50]. Contoh analisa statis dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Analisa Statis Bentuk Cacat [50]

Salah satu modul dalam ANSYS *workbench* lainnya adalah *transient thermal*. Pada modul ini, memiliki tujuan untuk menganalisis suatu sistem di bawah beban temperatur tertentu terhadap waktu. Sebagian besar aplikasi teknik membutuhkan analisis *transient thermal*, seperti blok mesin, tekanan bejana, nozel,

sistem perpipaan, dan sebagainya. Proses penyelesaian *transient thermal* sama dengan masalah analisis *steady-state*. Satu-satunya perbedaan antara kedua analisis ini adalah bahwa dalam analisis *transient thermal*, beban yang diterapkan pada suatu benda adalah fungsi dari waktu. Dalam analisis *transient thermal*, sistem dipelajari di bawah beban termal yang bervariasi terhadap waktu dan mendapatkan hasil suhu yang bervariasi dengan waktu, gradien termal, dan *fluks* termal dalam analisis *transient thermal*. Analisis *transient thermal* membutuhkan lebih banyak waktu dibandingkan dengan jenis analisis lainnya. Penting untuk memahami mekanisme dasar dari masalah untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusinya. Sebagai contoh, apabila permasalahan mengandung non-linieritas, maka harus memahami terlebih dahulu teori tentang bagaimana hal tersebut mempengaruhi respons struktur dengan melakukan analisis *steady-state thermal* [54].

2.12 ANSYS High Frequency Structure Simulator (HFSS)

ANSYS HFSS merupakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik (EM) 3D untuk mendesain dan mensimulasikan produk elektronik frekuensi tinggi seperti antena, susunan antena, komponen RF atau gelombang mikro, interkoneksi berkecepatan tinggi, filter, konektor, paket IC, dan papan sirkuit tercetak. Insinyur di seluruh dunia menggunakan perangkat lunak Ansys HFSS untuk mendesain produk elektronik frekuensi tinggi dan berkecepatan tinggi yang terdapat dalam sistem komunikasi, sistem bantuan pengemudi canggih (ADAS), satelit, dan produk *Internet-of-Things* (IoT) [55].

ANSYS HFSS memiliki banyak fitur yang berguna untuk desain rongga gelombang mikro seperti pemodelan geometri parametrik, algoritma *meshing* adaptif, elemen *mesh* lengkung, pemecah matriks modal dan *eigenmode* yang digerakkan, serta algoritma optimasi. HFSS secara luas digunakan untuk mendesain antena, filter, pandu gelombang, konektor, transisi, dan paket elektronik. Beberapa pemecah numerik tersedia dalam perangkat lunak HFSS, masing-masing ditargetkan untuk aplikasi yang berbeda. Lisensi memungkinkan penggunaan pemecah elemen hingga domain frekuensi, pemecah *eigenmode* elemen hingga domain frekuensi, pemecah elemen hingga domain waktu, pemecah persamaan integral domain frekuensi, pemecah hibrida integral batas elemen hingga domain frekuensi, pemecah persamaan integral planar domain frekuensi, atau pemecah sirkuit linier [56].

HFSS menggunakan teknik numerik yang disebut *Finite Element Method* (FEM). FEM adalah prosedur di mana sebuah struktur dibagi lagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil yang disebut *finite element*. *Finite element* yang digunakan oleh HFSS adalah *tetrahedra*, dan seluruh kumpulan *tetrahedra* disebut *mesh*. Solusi ditemukan untuk bidang-bidang dalam *finite element*, dan bidang-bidang ini saling terkait sehingga persamaan Maxwell terpenuhi di seluruh batas antar elemen dan menghasilkan solusi medan untuk keseluruhan struktur asli. Setelah solusi lapangan telah ditemukan, maka solusi matriks S yang digeneralisasi dapat ditentukan [57].

Bab III

METODE PENELITIAN

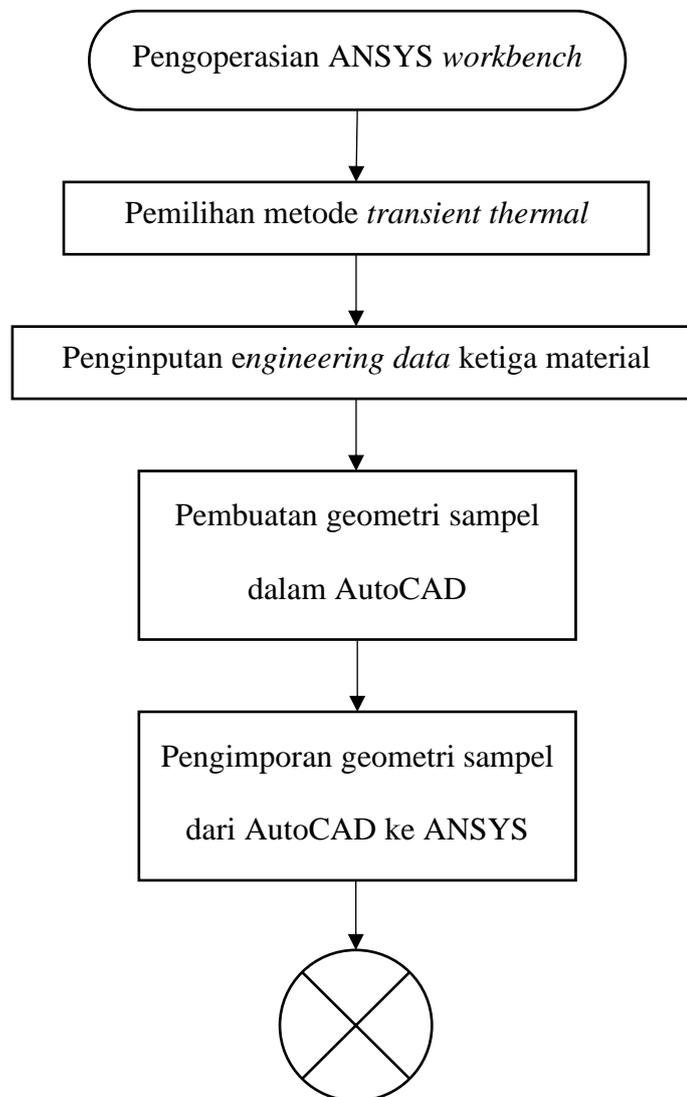
3.1 Diagram Alir Penelitian

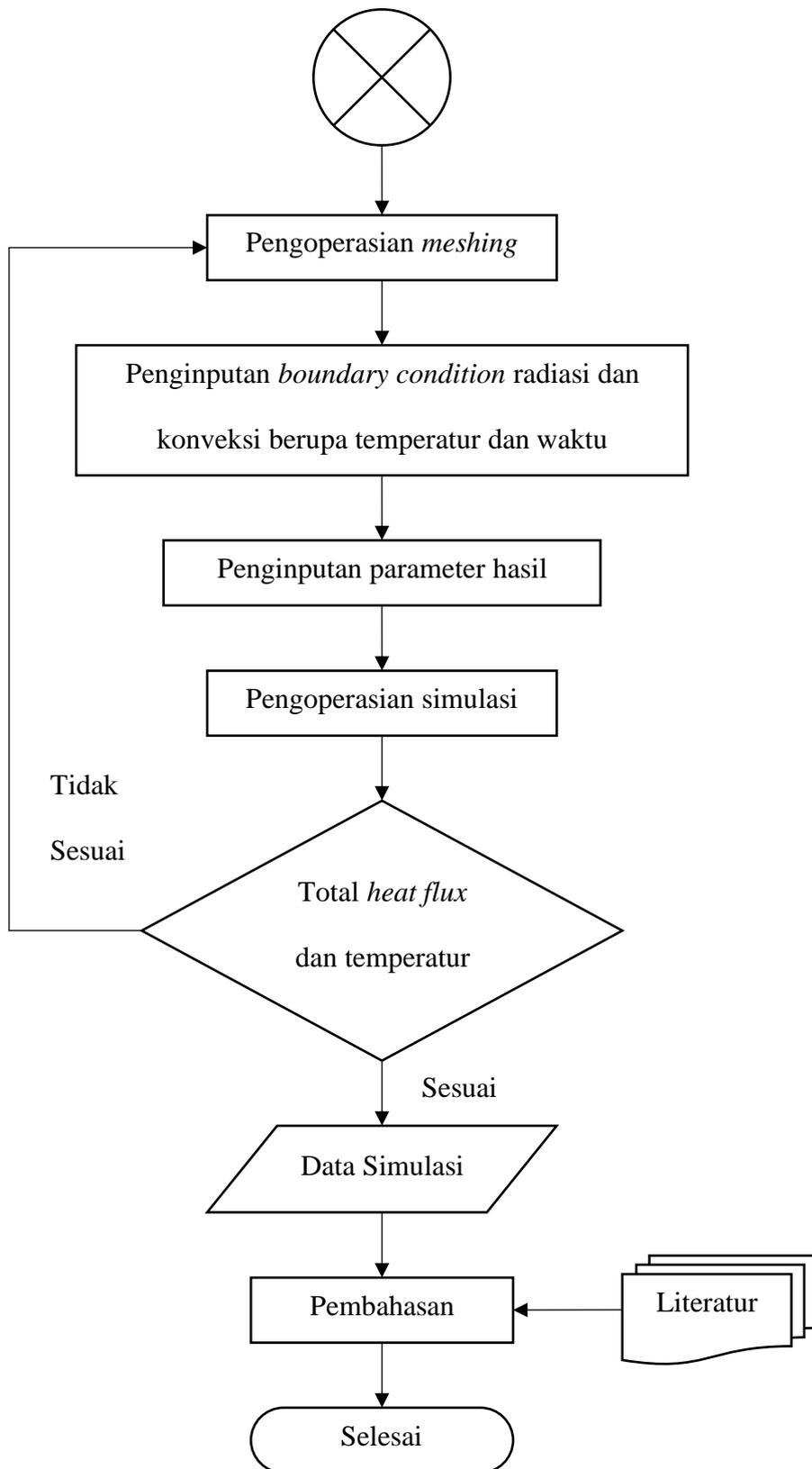
Diagram alir yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga simulasi, yaitu diagram alir simulasi *pre treatment*, pencanaan, dan pancaran radiasi. Pada diagram alir simulasi terdiri dari simulasi ANSYS versi R2 2023 untuk melakukan *pre treatment* pada spesimen menggunakan modul *transient thermal* dan proses ARB dengan hasil berupa data kekuatan dan kekerasan di mana pada simulasi tersebut menggunakan modul *static structural*. Setelah itu, simulasi menggunakan ANSYS *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) untuk melakukan simulasi radiasi dan mendapatkan hasil seberapa besar peredam pancaran radiasi dari material yang disimulasikan.

3.1.1 Diagram Alir Simulasi *Pre Treatment*

Simulasi *pre treatment* yang dimaksud adalah melakukan proses pemanasan pada pelat ketiga material dengan menggunakan ANSYS R2 2023 dan modul *transient thermal* untuk mengetahui distribusi temperatur saat pemanasan berlangsung dan mengetahui pengaruh temperatur terhadap sifat ketiga material. Material yang digunakan adalah aluminium AA1100-O, tembaga *Electrolytic Tough Pitch* (ETP) C11000, dan timbal murni L50042 *sand cast*. Pada simulasi *pre treatment* diperlukan *material properties* berupa *density*, *thermal conductivity*, dan *specific heat*. Data material tersebut lalu dimasukkan ke dalam *engineering data* pada ANSYS

R2 2023. Geometri pada pelat memiliki dimensi sebesar 6 x 14 cm untuk empat lapis pelat dan geometri dengan dimensi sebesar 5 x 13 cm untuk tiga lapis pelat. Masing-masing satu lapis pelat tersebut memiliki ketebalan sebesar 1 mm. Geometri dibuat dengan menggunakan aplikasi *Computer Aided Design* (CAD) dari Autodesk, yaitu AutoCAD, lalu dimasukkan ke dalam aplikasi ANSYS R2 2023. Simulasi *pre treatment* dapat dilihat pada diagram alir yang ada pada Gambar 3.1.

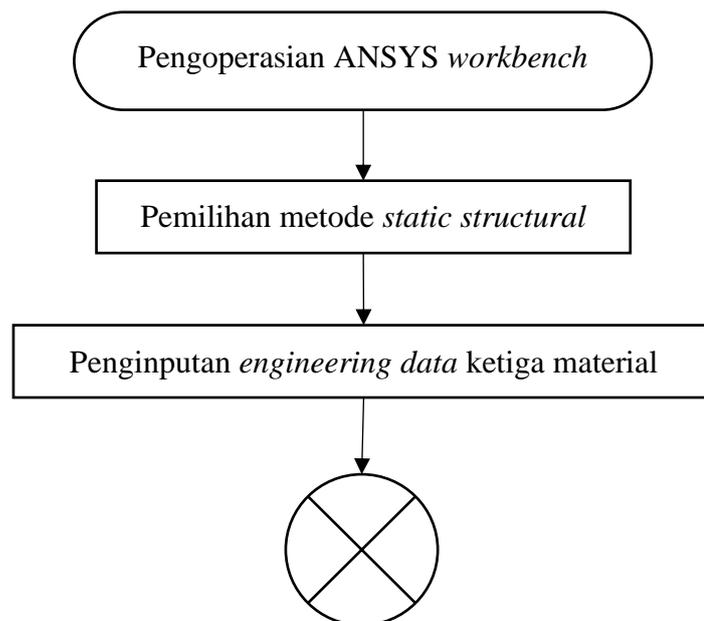


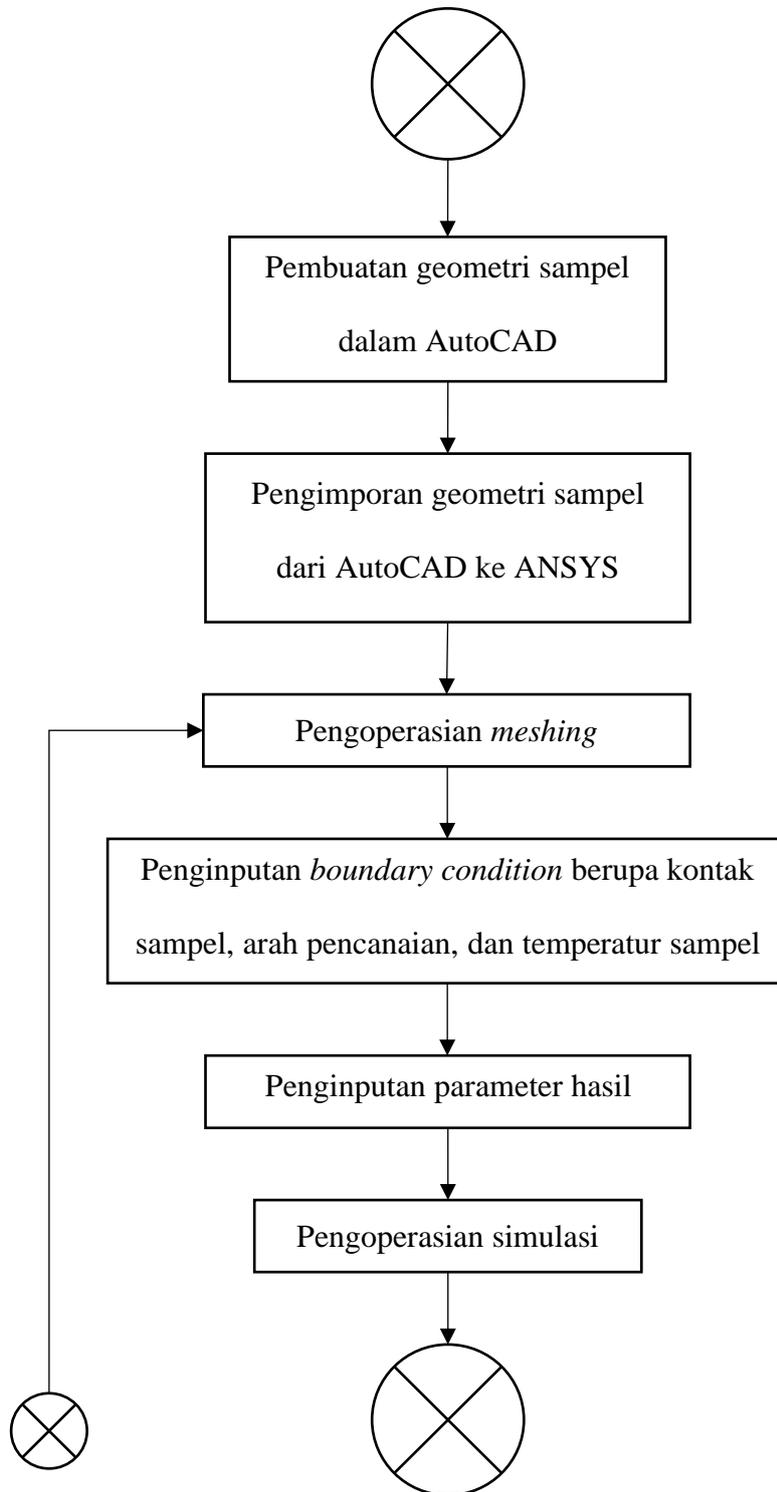


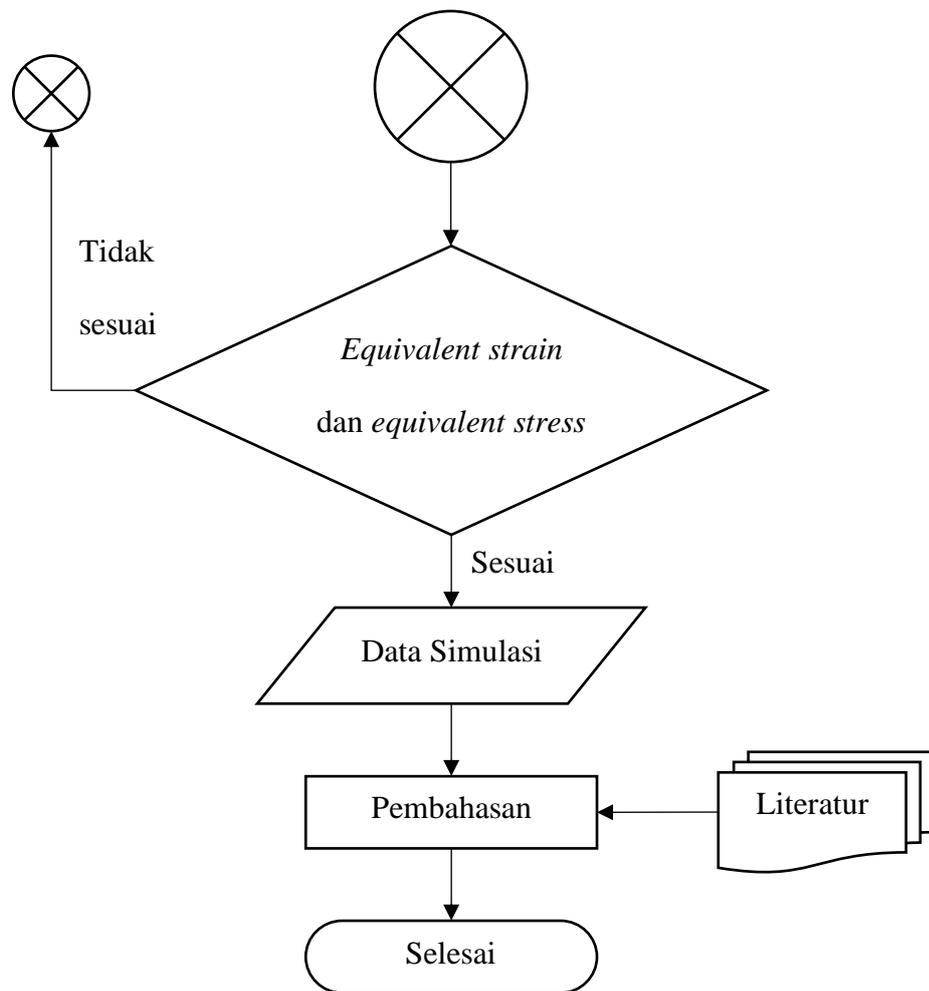
Gambar 3.1 Diagram Alir Simulasi *Pre Treatment*

3.1.2 Diagram Alir Simulasi Pencanaian (*Rolling*)

Simulasi pencanaian atau *rolling* menggunakan ANSYS R2 2023 dengan menggunakan metode *static structural* untuk menganalisis pembebanan pada proses canai yang dilakukan secara konsisten tanpa adanya perubahan dari pembebanan. Pada simulasi pencanaian dibutuhkan data-data material seperti *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *young's modulus*, dan *tensile yield strength*. Data material tersebut dimasukkan ke dalam *engineering data* pada ANSYS R2 2023. Selain ketiga material dari pelat, maka ditambahkan pula material untuk canai atau *roll* agar hasil yang didapatkan semakin akurat. Material yang digunakan pada canai adalah *structural steel*. Geometri dibuat dengan menggunakan *Computer Aided Design* (CAD), lalu dimasukkan ke aplikasi ANSYS R2 2023. Simulasi pencanaian dapat dilihat pada diagram alir yang ada pada Gambar 3.2.



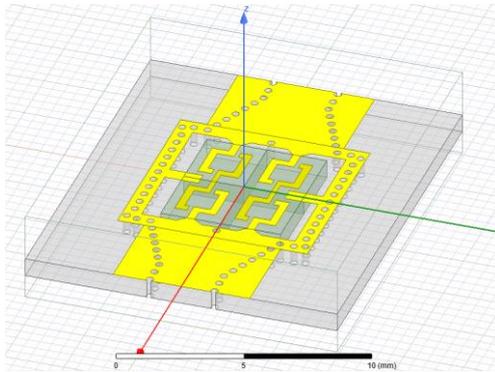




Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi Pencanaan

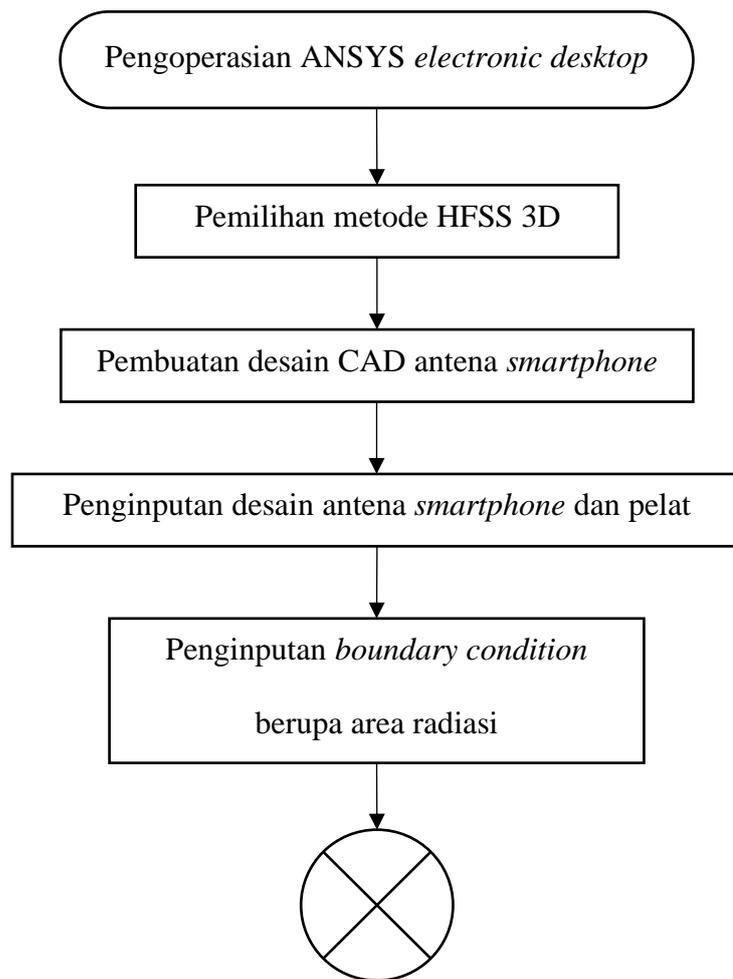
3.1.3 Diagram Alir Simulasi Pancaran Radiasi

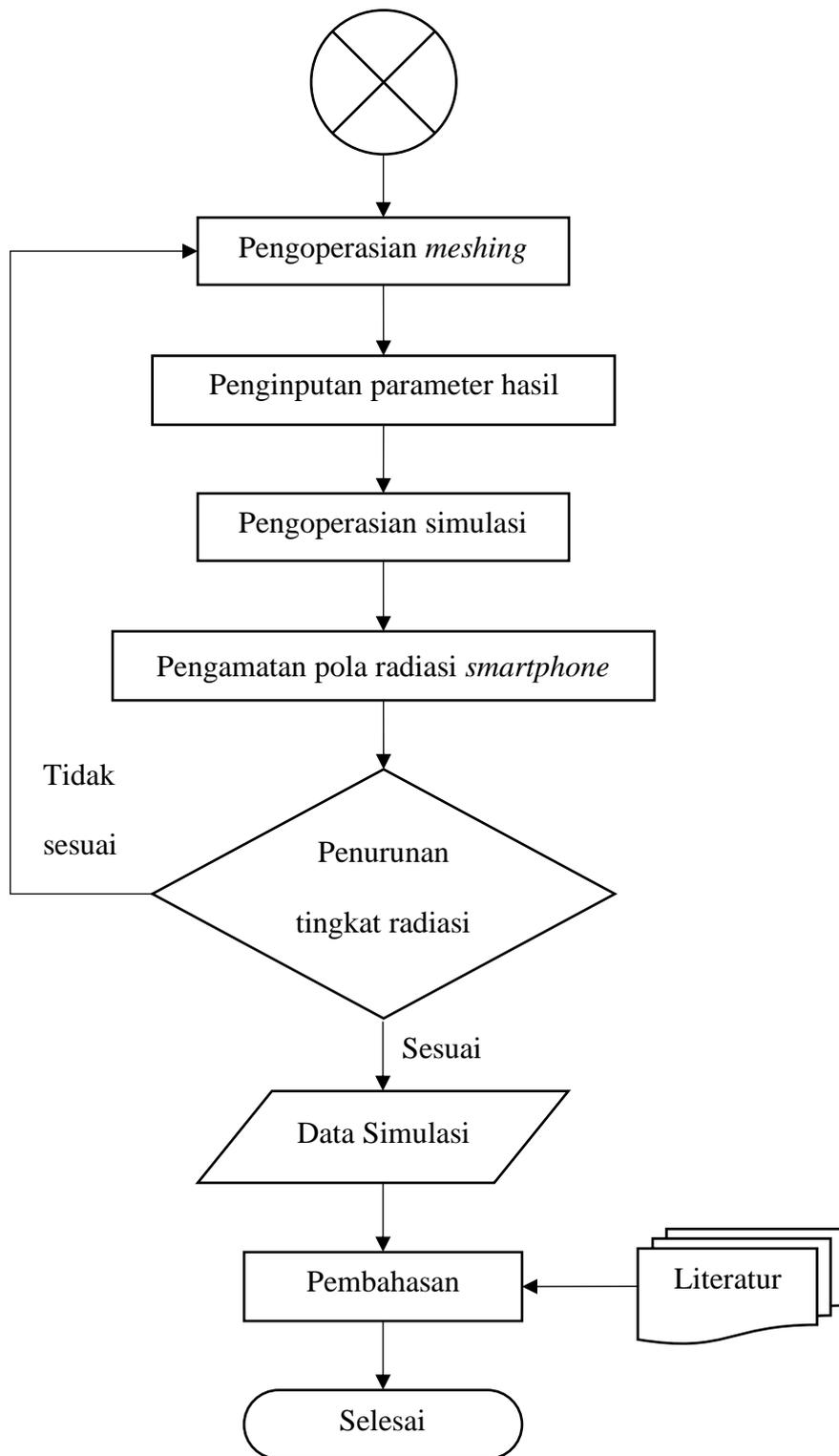
Simulasi pancaran radiasi menggunakan ANSYS HFSS yang dilakukan dengan menggunakan desain *smartphone* dan meletakkan logam hasil proses ARB sebagai *casing smartphone*. Desain *smartphone* yang digunakan pada simulasi ini menggunakan desain antena *Substrate Integrated Waveguide (SIW) Aperture 5G* [58]. Berikut merupakan desain antena yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain Antena SIW *Aperture* 5G [58]

Simulasi radiasi *smartphone* dapat dilihat pada diagram alir yang ada pada Gambar 3.4.





Gambar 3.4 Diagram Alir Simulasi Pancaran Radiasi

3.2 Alat, Data, dan Komponen

3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Jaringan komunikasi/sinyal internet
2. Komputer/laptop dengan spesifikasi yang mumpuni
3. *Software ANSYS* versi R2 2023
4. *Software ANSYS High Frequency Structure Simulator (HFSS)*
5. *Software AutoCAD* versi 2022

3.2.2 Data dan Komponen yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. *Material Properties* pelat aluminium seri AA1100-O ukuran 5 x 13 dan 6 x 14 cm dengan ketebalan 1 mm
2. *Material Properties* pelat tembaga ETP C11000 ukuran 5 x 13 dan 6 x 14 cm dengan ketebalan 1 mm
3. *Material Properties* pelat timbal murni UNS L50042 *sand cast* ukuran 5 x 13 dan 6 x 14 cm dengan ketebalan 1 mm
4. *Material Properties roller* baja *structural* ukuran 10 x 10 cm berbentuk tabung pejal

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari tiga prosedur penelitian simulasi, di antaranya adalah simulasi *pre treatment*, pencanaan, dan pancaran radiasi.

3.3.1 Prosedur Simulasi *Pre Treatment*

Tahapan simulasi *pre treatment* dimulai dengan membuka ANSYS *workbench* dalam *folder* ANSYS R2 2023 pada komputer. Setelah dibuka, maka berikutnya dapat memilih metode *transient thermal* untuk melakukan prosesnya. Pada metode tersebut, diperlukan data-data yang berada pada *engineering data* seperti *density*, *thermal conductivity*, dan *specific heat*. Setelah itu, perlu adanya pembuatan geometri dalam AutoCAD berupa pelat untuk ketiga material. Ukuran pelat yang digunakan untuk tiga lapis sebesar 5 x 13 cm dan empat lapis sebesar 6 x 14 cm dengan masing-masing ketebalan satu pelat yaitu 1 mm. Geometri tersebut lalu diimpor ke ANSYS pada *software* ANSYS *design modeler*. Permodelan dapat dilakukan dengan melakukan *meshing* dan menyesuaikan ukuran elemen pada geometri. Kemudian dilakukan *boundary condition* dengan memasukkan parameter konveksi berupa temperatur anil dan koefisien konveksi, serta parameter radiasi berupa temperatur anil dan emisivitas. Lalu masukkan hasil berupa temperatur dan total *heat flux*, dilanjut dengan simulasi yang dapat dilakukan. Terakhir, hasil simulasi diamati dan dicatat.

3.3.2 Prosedur Simulasi Pencanaian

Tahapan untuk simulasi pencanaian (*rolling*) dimulai dengan membuka ANSYS *workbench* dalam *folder* ANSYS R2 2023 pada komputer. Setelah dibuka, maka berikutnya dapat memilih metode *static structural* untuk melakukan prosesnya. Pada metode tersebut, diperlukan data-data yang berada pada *engineering data* seperti *Ultimate Tensile*

Strength (UTS), *young's modulus*, dan *tensile yield strength*. Setelah itu, perlu adanya pembuatan geometri dalam AutoCAD berupa dua *roller* dan pelat untuk ketiga material. Ukuran *roller* yang digunakan masing-masing sebesar 10 x 10 cm dan diberi jarak sebesar 2 mm, serta ukuran pelat yang sama seperti simulasi sebelumnya. Geometri tersebut lalu diimpor ke ANSYS pada *software ANSYS design modeler*. Permodelan dapat dilakukan dengan melakukan *meshing* dan menyesuaikan ukuran elemen pada geometri. Kemudian dilakukan *boundary condition* dengan mengatur kontak pelat dengan *roller*, arah pencanaian, dan temperatur pelat dari hasil simulasi *pre treatment*. Lalu masukkan hasil berupa *equivalent stress* dan *equivalent total strain*, dilanjut dengan simulasi yang dapat dilakukan. Terakhir, hasil simulasi diamati dan dicatat untuk perbandingan dengan penelitian langsung.

3.3.3 Prosedur Simulasi Pancaran Radiasi

Tahapan untuk simulasi pancaran radiasi dimulai dengan membuka ANSYS *elecronic desktop* pada komputer. Setelah dibuka, maka berikutnya dapat memilih metode HFSS 3D untuk melakukan prosesnya. Setelah itu, perlu adanya pembuatan geometri berupa antena berdasarkan literatur dari Bisharat et al. [58]. Geometri tersebut lalu diimpor ke ANSYS. Permodelan dapat dilakukan dengan melakukan *meshing* dan menyesuaikan ukuran elemen pada geometri. Kemudian dilakukan *boundary condition* berupa area radiasi. Lalu masukkan hasil berupa *Efield* dengan satuan V/m, dilanjut

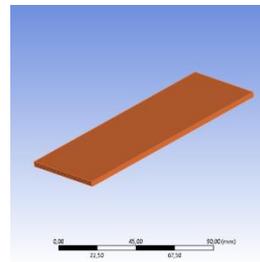
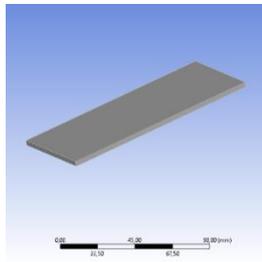
dengan simulasi yang dapat dilakukan. Terakhir, hasil simulasi berupa pola radiasi diamati dan dicatat untuk perbandingan dengan penelitian langsung.

Bab IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

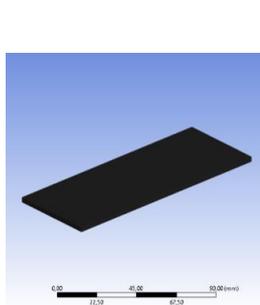
4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini didasari dari penelitian langsung oleh Khoirul Rifai yang menggunakan pelat dengan dua ukuran, yaitu 5 x 13 cm untuk tiga lapis dan 6 x 14 cm untuk empat lapis. Material pelat yang digunakan yaitu aluminium AA1100-O, tembaga *Electrolytic Tough Pitch* (ETP) C11000, dan timbal murni L50042 *sand cast*. Berikut Gambar 4.1 yang merupakan bentuk masing-masing spesimen, di mana spesimen simulasi dapat dilihat pada sisi kiri dan spesimen penelitian langsung [7] yang dapat dilihat pada sisi kanan.

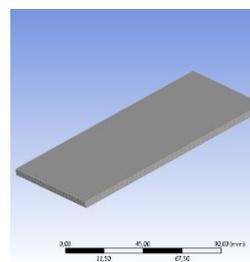


(a)

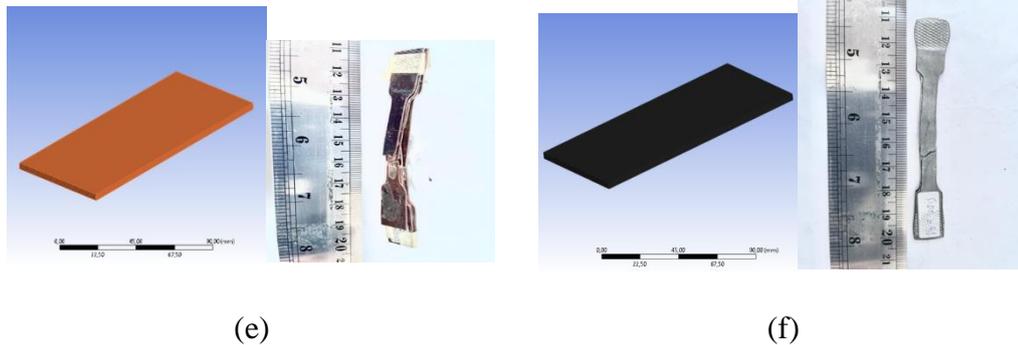
(b)



(c)



(d)



Gambar 4.1 Pelat Tiga Lapis Al (a), Cu (b), Pb (c), dan Empat Lapis Al (d), Cu (e), Pb (f)

Penelitian simulasi dimulai dengan melakukan proses *pre treatment* atau pemanasan terlebih dahulu dengan hasil temperatur dan *heat flux*. *Heat flux* pada pelat tiga lapis dan empat lapis memiliki perbedaan pada nilainya. Semakin tebal pelat, maka akan semakin kecil pula perpindahan panas atau nilai *heat flux* [59].

Setelah melakukan simulasi proses pemanasan atau *pre treatment*, maka selanjutnya adalah melakukan proses pencanaian dengan metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB) sebanyak lima siklus atau lima kali pencanaian pada pelat tiga lapis dan empat lapis. Berikut merupakan tabel ubahan dimensi (aluminium Tabel 4.1; tembaga Tabel 4.2; dan timbal Tabel 4.3).

Tabel 4.1 Perubahan Dimensi Pelat Al

3 Lapis		4 Lapis	
Panjang (cm)	19,5	Panjang (cm)	26,5
Lebar (cm)	5	Lebar (cm)	6,34
Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
Volume (cm ³)	19,5	Volume (cm ³)	33,602
C2 Panjang (cm)	18,71	C2 Panjang (cm)	25,81

	Lebar (cm)	5,21	Lebar (cm)	6,51
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,4958	Volume (cm ³)	33,6046
	Panjang (cm)	17,96	Panjang (cm)	26,13
C3	Lebar (cm)	5,43	Lebar (cm)	6,43
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,5046	Volume (cm ³)	33,6032
	Panjang (cm)	17,23	Panjang (cm)	24,74
C4	Lebar (cm)	5,66	Lebar (cm)	6,79
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,5044	Volume (cm ³)	33,5969
	Panjang (cm)	15,87	Panjang (cm)	16,19
C5	Lebar (cm)	5,85	Lebar (cm)	7,16
	Tebal (cm)	0,21	Tebal (cm)	0,29
	Volume (cm ³)	19,4963	Volume (cm ³)	33,6169

Tabel 4.2 Perubahan Dimensi Pelat Cu

		3 Lapis	4 Lapis		
C1	Panjang (cm)	19,12	Panjang (cm)	27,05	
	Lebar (cm)	5,1	Lebar (cm)	6,21	
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2	
	Volume (cm ³)	19,5024	Volume (cm ³)	33,5961	
C2	Panjang (cm)	18,29	C2	Panjang (cm)	26,21

	Lebar (cm)	5,33	Lebar (cm)	6,41
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,4971	Volume (cm ³)	33,6012
	Panjang (cm)	17,57	Panjang (cm)	25,34
C3	Lebar (cm)	5,55	Lebar (cm)	6,63
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,5027	Volume (cm ³)	33,6008
	Panjang (cm)	16,87	Panjang (cm)	24,49
C4	Lebar (cm)	5,78	Lebar (cm)	6,86
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,5017	Volume (cm ³)	33,6003
	Panjang (cm)	12,46	Panjang (cm)	21,54
C5	Lebar (cm)	6,02	Lebar (cm)	7,09
	Tebal (cm)	0,26	Tebal (cm)	0,22
	Volume (cm ³)	19,5024	Volume (cm ³)	33,5981

Tabel 4.3 Perubahan Dimensi Pelat Pb

		3 Lapis	4 Lapis		
C1	Panjang (cm)	19,19	Panjang (cm)	27,27	
	Lebar (cm)	5,08	Lebar (cm)	6,16	
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2	
	Volume (cm ³)	19,497	Volume (cm ³)	33,5966	
C2	Panjang (cm)	19,61	C2	Panjang (cm)	26,58

	Lebar (cm)	5,24	Lebar (cm)	6,32
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	20,5513	Volume (cm ³)	33,5971
	Panjang (cm)	18,05	Panjang (cm)	25,93
C3	Lebar (cm)	5,4	Lebar (cm)	6,48
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,494	Volume (cm ³)	33,6053
	Panjang (cm)	17,54	Panjang (cm)	25,3
C4	Lebar (cm)	5,56	Lebar (cm)	6,64
	Tebal (cm)	0,2	Tebal (cm)	0,2
	Volume (cm ³)	19,5045	Volume (cm ³)	33,5984
	Panjang (cm)	16,21	Panjang (cm)	22,46
C5	Lebar (cm)	5,73	Lebar (cm)	6,8
	Tebal (cm)	0,21	Tebal (cm)	0,22
	Volume (cm ³)	19,5055	Volume (cm ³)	33,6002

Setelah melakukan simulasi proses pencanaan, maka selanjutnya adalah melakukan pengujian simulasi radiasi menggunakan aplikasi ANSYS *High Frequency Structural Simulator* (HFSS), dimulai dengan menyiapkan desain CAD antenna *Substrate Integrated Waveguide* (SIW) *aperture* 5G berdasarkan literatur dari Bisharat, et al [58], memasukkan desain antenna SIW *aperture* 5G beserta pelat yang telah melalui proses pencanaan ke ANSYS HFSS, dan menyesuaikan *boundary condition* dari area radiasi dan mengamati simulasi pancaran radiasi.

4.2 Simulasi Proses *Pre Treatment*

Penelitian dimulai dengan melakukan pemanasan atau *pre treatment* dengan temperatur yang digunakan disesuaikan dengan titik anil pada material. Masing-masing titik anil material yaitu pada aluminium AA1100-O berada di temperatur sebesar 343°C, tembaga ETP C11000 berada di temperatur 371°C, dan timbal L50042 berada di temperatur 230°C [26].

Pre treatment bertujuan untuk menghindari kegagalan proses apabila digunakan dalam temperatur kamar. Pada temperatur kamar, sekitar 25-30°C, pelat lebih mudah mengalami kegagalan karena terjadi perambatan tegangan sehingga mengakibatkan fenomena retakan dan porositas [39]. Seperti yang dijelaskan, bahwa temperatur memiliki pengaruh penting pada hasil pencanaian, khususnya pada metode ARB. Pada simulasi pemanasan diketahui pula lajur perpindahan panas dari masing-masing material. Laju perpindahan panas disebut juga dengan *heat flux*. Laju perpindahan panas ini berpindah dari area yang lebih panas menuju ke area yang lebih dingin. Satuan dari laju perpindahan panas ini adalah W/m^2 . Namun, pada simulasi proses pemanasan ini menggunakan satuan W/mm^2 karena area yang digunakan adalah area pelat, di mana area tersebut tidaklah terlalu besar. Mengetahui laju perpindahan panas dapat mempermudah dalam menentukan prediksi pemerataan temperatur pada area pelat untuk mencapai titik anil dari material. Selain mengetahui laju perpindahan panas, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik anil juga diperlukan. Hal ini dikarenakan simulasi menggunakan proses dalam *furnace* pada penelitian secara langsung. Simulasi pemanasan ini membutuhkan koefisien konveksi dan emisivitas. Hal ini disebabkan karena pada

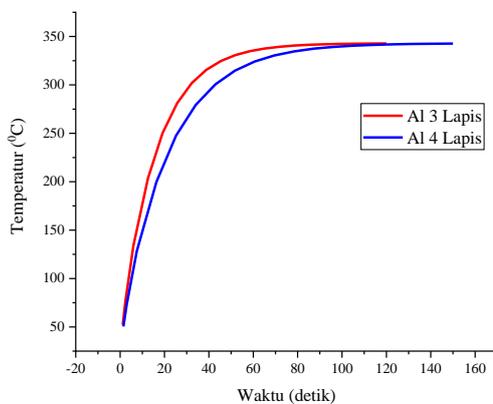
proses pemanasan dalam *furnace* terdapat aliran konveksi dan radiasi. Pada simulasi pemanasan ini menggunakan koefisien konveksi dan emisivitas yang berbeda-beda pada setiap material. Pada koefisien konveksi, perbedaan nilai disebabkan karena setiap material memiliki temperatur konduktivitas yang berbeda-beda. Selain itu, ukuran pelat antara tiga lapis dan empat lapis mempengaruhi perbedaan nilai koefisien konveksi pula. Nilai koefisien konveksi pada pelat aluminium tiga lapis yaitu sebesar $481 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ dan pada pelat aluminium empat lapis sebesar $466,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Lalu untuk pelat tembaga tiga lapis memiliki koefisien konveksi sebesar $840 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ dan pelat tembaga empat lapis sebesar $814,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Kemudian koefisien konveksi pada pelat timbal tiga lapis yaitu sebesar $75,83 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ dan pelat timbal empat lapis sebesar $73,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Selain koefisien konveksi, pada simulasi dibutuhkan juga nilai emisivitas, di mana untuk pelat aluminium sebesar 0,05; pelat tembaga sebesar 0,07; dan pelat timbal sebesar 0,63. Emisivitas tidak dipengaruhi oleh ketebalan pelat dan luas permukaan dari pelat, hal ini dikarenakan rasio daya yang dipancarkan oleh partikel terhadap daya yang dipancarkan oleh partikel pemancar [39]. Berikut adalah tabel hasil temperatur dan *heat flux* yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Temperatur dan *Heat Flux*

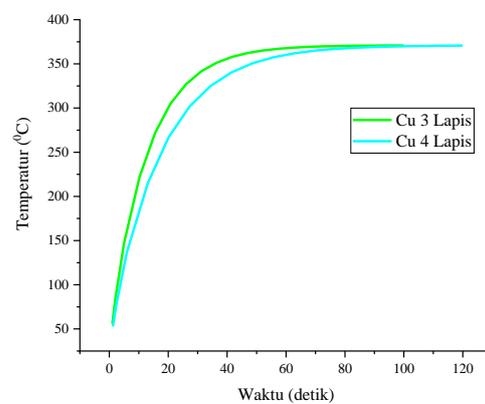
Material	Jumlah Lapisan	Temperatur (°C)	<i>Heat Flux</i> (W/mm²)
Al AA1100-O	3 Lapis	342,82	0,00849
	4 Lapis	342,7	0,0139

Cu ETP	3 Lapis	370,85	0,0121
C11000	4 Lapis	370,67	0,0263
Pb L50042	3 Lapis	229,67	0,00241
	4 Lapis	229,92	0,000582

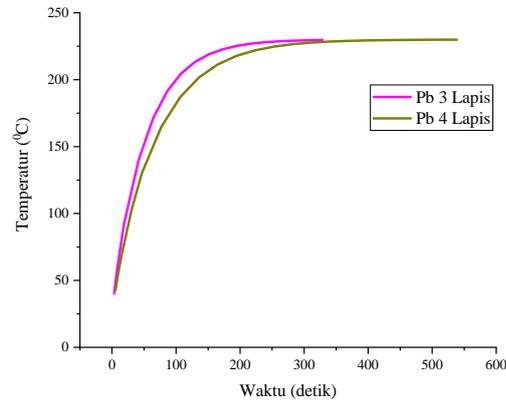
Hasil dari simulasi proses pemanasan pada waktu terhadap temperatur menunjukkan hasil yang berbeda-beda dari tiap material dan tiap lapisan. Pada pelat aluminium untuk mencapai titik anil, tiga lapis membutuhkan waktu sebanyak 120 detik (2 menit) dan empat lapis membutuhkan waktu sebesar 150 detik (2,5 menit). Lalu untuk pelat tembaga mencapai titik anilnya, tiga lapis membutuhkan waktu sebanyak 100 detik dan empat lapis membutuhkan waktu sebesar 120 detik (2 menit). Kemudian pelat timbal mencapai titik anilnya, tiga lapis membutuhkan waktu sebanyak 330 detik (5,5 menit) dan empat lapis membutuhkan waktu sebesar 540 detik (9 menit). Waktu yang telah ditentukan untuk mencapai titik anil menghasilkan temperatur pada setiap pelat. Hasil temperatur pelat tiga dan empat lapis pada waktu tertentu dapat dilihat pada kurva Gambar 4.2.



(a)



(b)

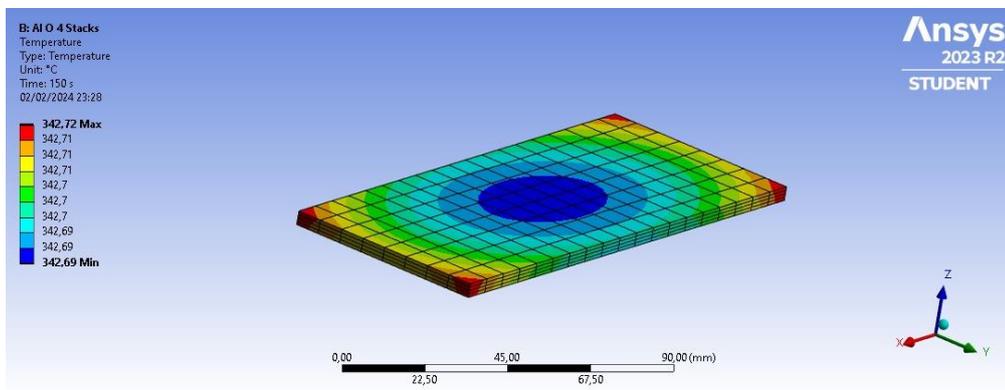


(c)

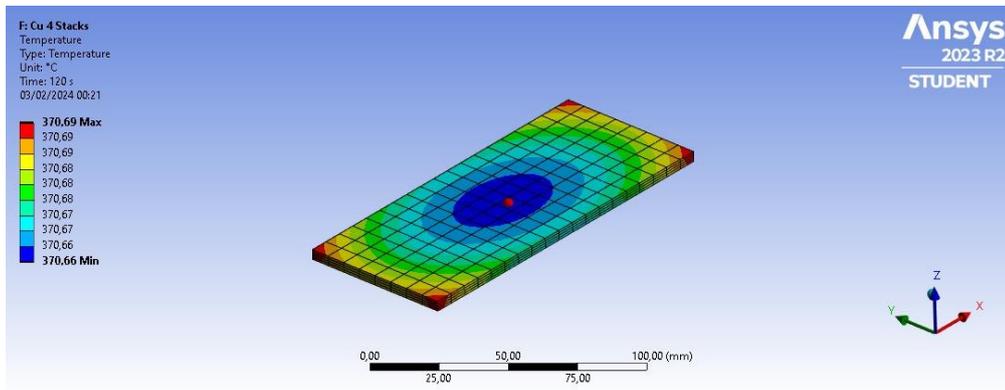
Gambar 4.2 Kurva Waktu Terhadap Temperatur pada Pelat Tiga dan Empat Lapis pada Al (a), Cu (b), dan Pb (c)

Dapat dilihat dari kurva di atas bahwa pelat timbal tiga lapis memiliki waktu terbanyak untuk mencapai hasil temperatur sebesar $229,67^{\circ}\text{C}$ dan timbal empat lapis menjadi pelat yang paling banyak membutuhkan waktu untuk mencapai hasil temperatur sebesar $229,92^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, pelat tembaga tiga lapis memiliki waktu paling singkat di antara pelat tiga lapis lainnya untuk mencapai hasil temperatur sebesar $370,85^{\circ}\text{C}$; begitu pula tembaga empat lapis memiliki waktu paling singkat pula di antara pelat empat lapis lainnya untuk mencapai hasil temperatur sebesar $370,67^{\circ}\text{C}$. Terakhir yaitu pelat tiga lapis aluminium membutuhkan waktu ditengah-tengah untuk mencapai hasil temperatur sebesar $342,82^{\circ}\text{C}$; serta pelat empat lapis aluminium membutuhkan waktu di tengah untuk mencapai hasil temperatur sebesar $342,7^{\circ}\text{C}$. Selain kurva, gambaran hasil temperatur pada simulasi pelat tiga lapis tiap material dapat dilihat pada Gambar 4.3. di bawah ini.

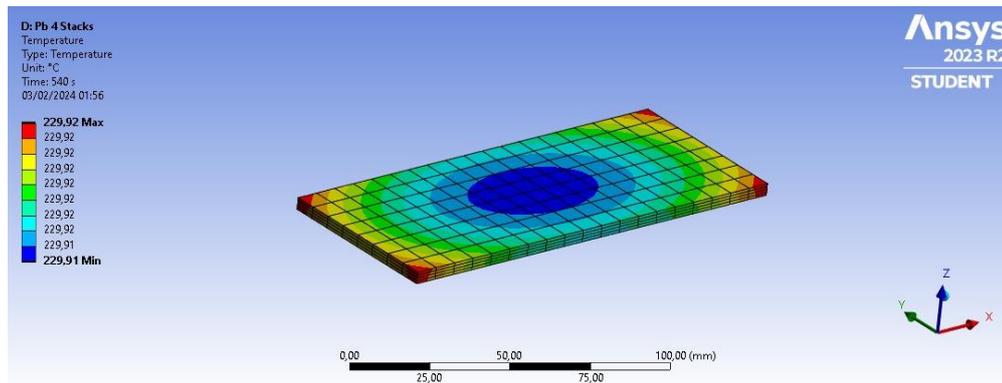
aluminium membutuhkan waktu sebanyak dua menit hingga mencapai titik anilnya. Lalu pelat tembaga membutuhkan waktu sebanyak 1 menit 40 detik hingga mencapai titik anilnya. Terakhir pelat timbal membutuhkan waktu sebanyak 5 menit 30 detik hingga mencapai titik anilnya. Selanjutnya gambaran hasil temperatur pada simulasi pelat empat lapis tiap material dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



(a)



(b)

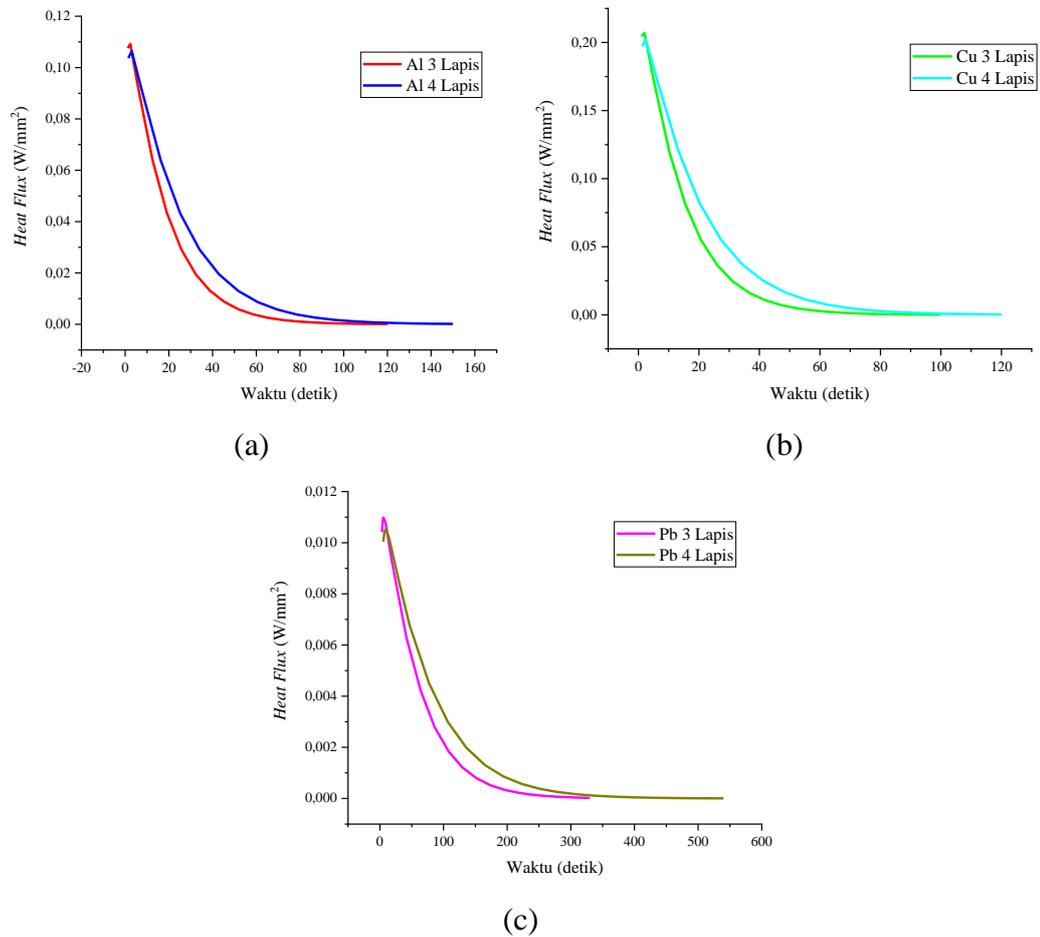


(c)

Gambar 4.4 Gambaran Hasil Temperatur Pelat Empat Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb

Pada gambaran hasil peningkatan temperatur, dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur dimulai dari sudut juga pada pelat empat lapis. Gambaran peningkatan terjadi pada ketiga material pelat empat lapis yang disimulasikan. Pelat aluminium membutuhkan waktu sebanyak 2 menit 30 detik hingga mencapai titik anilnya. Lalu pelat tembaga membutuhkan waktu sebanyak 5 menit 30 detik hingga mencapai titik anilnya. Terakhir pelat timbal membutuhkan waktu sebanyak 9 menit hingga mencapai titik anilnya.

Setelah hasil temperatur oleh tiap lapisan dan material, dilanjutkan dengan hasil *heat flux*, di mana masing-masing material memiliki *heat flux* yang berbeda-beda karena kecepatan rambatan panas dapat dipengaruhi oleh volume pelat dan jenis material. Di antara pada pelat yang memiliki empat lapis membutuhkan *heat flux* yang lebih sedikit dikarenakan volume yang digunakan pada empat lapis lebih luas dibandingkan dengan pelat tiga lapis. Kurva waktu terhadap *heat flux* dapat dilihat pada Gambar 4.5.

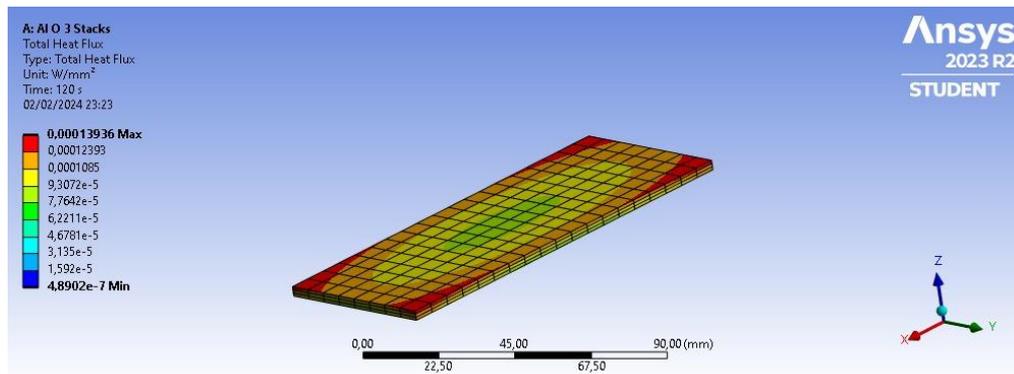


Gambar 4.5 Kurva Waktu Terhadap *Heat Flux* pada Pelat Tiga dan Empat Lapis pada Al (a), Cu (b), dan Pb (c)

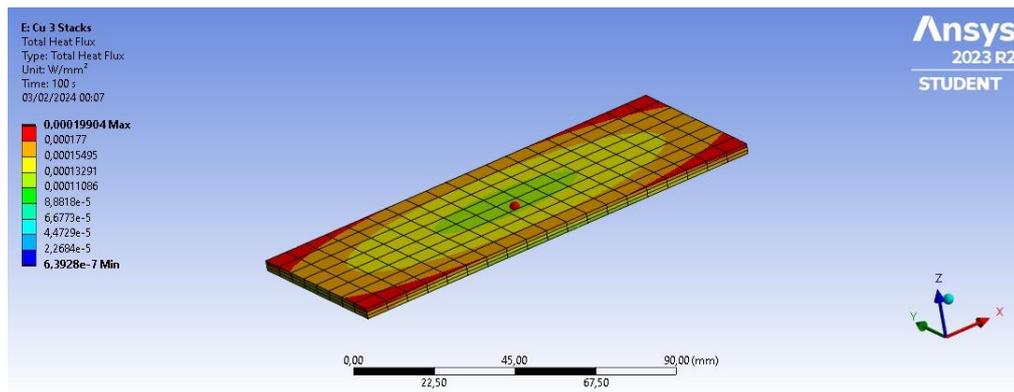
Dapat dilihat dari kurva di atas, bahwa pelat tiga lapis timbal memiliki waktu terbanyak yaitu 330 detik untuk mencapai hasil *heat flux* terendah dan pada timbal empat lapis membutuhkan waktu terbanyak yaitu 540 detik untuk mencapai hasil *heat flux* terendah. Sementara itu, pelat tembaga memiliki waktu paling singkat yaitu sebanyak 100 detik untuk mencapai hasil *heat flux* terendah dan pada tembaga empat lapis membutuhkan waktu paling singkat yaitu sebanyak 120 detik untuk mencapai hasil *heat flux* terendah. Terakhir yaitu pelat aluminium membutuhkan waktu ditengah-tengah yang tipis dibandingkan dengan pelat

tembaga yaitu sebanyak 120 detik untuk mencapai hasil *heat flux* terendah dan pada aluminium empat lapis membutuhkan waktu di tengah-tengah pula yang tipis dibandingkan dengan pelat tembaga yaitu sebanyak 150 detik untuk mencapai hasil *heat flux* terendah.

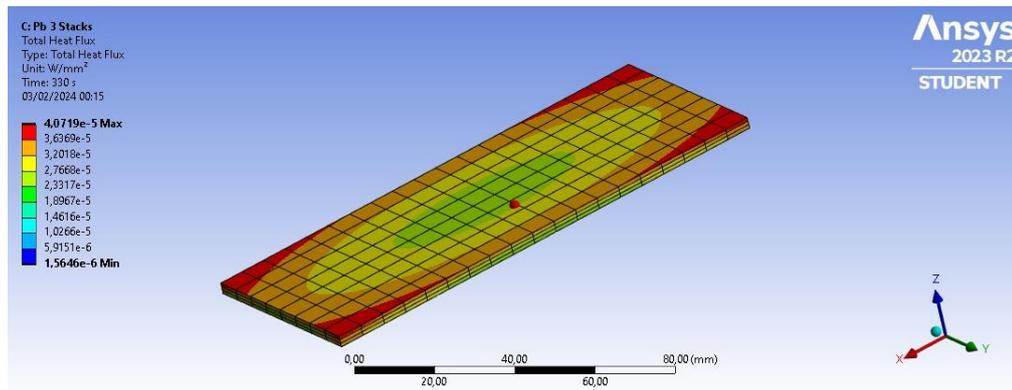
Perbedaan waktu yang terjadi pada nilai *heat flux* disebabkan pengaruh dari nilai koefisien konveksi yang berbeda pada variasi material, serta ketebalan pelat atau lapisannya juga berbeda. Selanjutnya merupakan gambaran hasil *heat flux* simulasi pada pelat tiga lapis dapat dilihat pada Gambar 4.6.



(a)



(b)



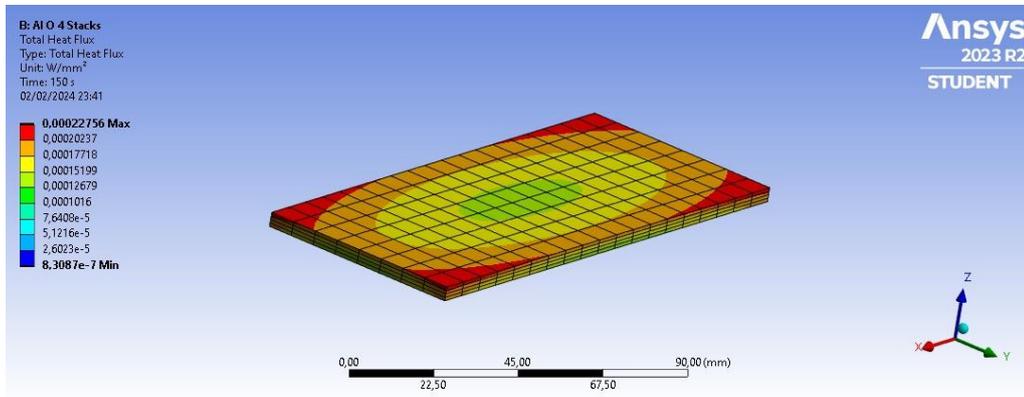
(c)

Gambar 4.6 Gambaran Hasil *Heat Flux* Pelat Tiga Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb

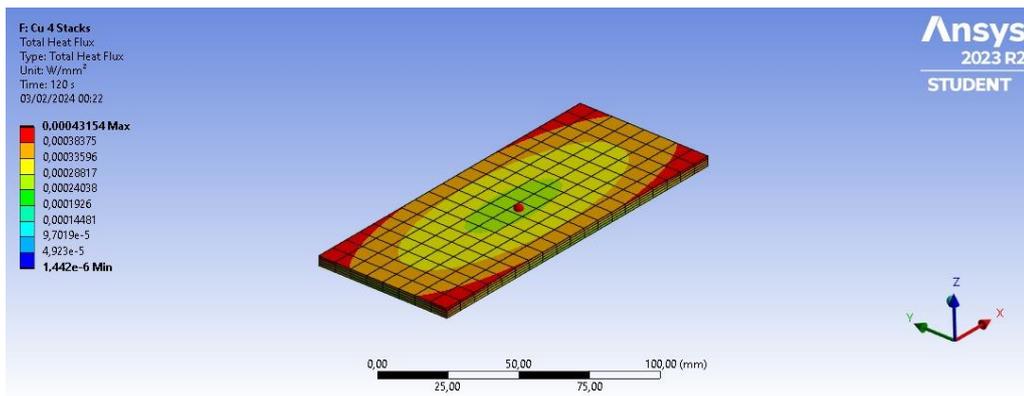
Pada gambar di atas adalah rambatan *heat flux* yang terjadi pada pelat tiga lapis. Gambaran di atas adalah total *heat flux* yang menampilkan rambatan panas per satuan luas yaitu mm^2 . Semakin kecil *heat flux* maka rambatan panas lebih sedikit akan menghasilkan temperatur yang lebih sedikit pula, di mana kecilnya *heat flux* memberikan hasil yang lebih baik. Namun semakin besar *heat flux*, maka yang terjadi pada rambatan panas dan temperatur terjadi sebaliknya. Dapat dilihat pula pada gambar di atas bahwa rambatan panas tertinggi ada di bagian ujung dari pelat, dengan masing-masing hasil rambatan pada pelat aluminium $0,00849 \text{ W/mm}^2$; pelat tembaga $0,0121 \text{ W/mm}^2$; dan pelat timbal $0,00241 \text{ W/mm}^2$.

Selanjutnya adalah gambaran hasil *heat flux* dari pelat empat lapis yang memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan pelat tiga lapis. Gambaran tersebut merupakan total *heat flux*, di mana pada hasil ini menampilkan rambatan panas per satuan luas yaitu mm^2 . Karena pelat empat lapis memiliki nilai total *heat flux* yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai total *heat flux* tiga lapis, maka

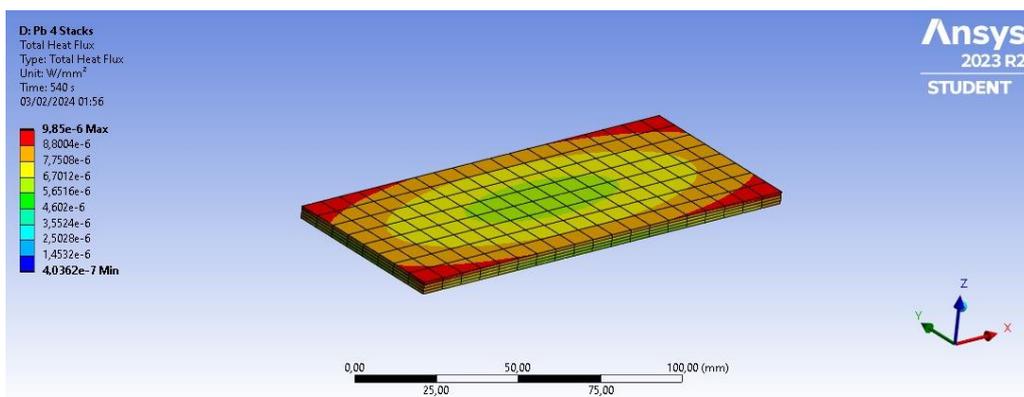
hasil total *heat flux* pelat empat lapis lebih baik dibandingkan tiga lapis. Gambaran hasil *heat flux* dari pelat empat lapis dapat dilihat pada Gambar 4.7.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.7 Gambaran Hasil *Heat Flux* Pelat Empat Lapis (a) Al (b) Cu (c) Pb

Dapat dilihat pada gambar di atas adalah rambatan *heat flux* yang terjadi pada pelat empat lapis, di mana gambaran di atas adalah total *heat flux*. Dapat dilihat pula pada gambar di atas bahwa rambatan panas tertinggi pada pelat empat lapis juga berada di bagian ujung dari pelat, dengan masing-masing hasil rambatan pada pelat aluminium mencapai 0,0139 W/mm²; pelat tembaga mencapai 0,0263 W/mm²; dan pelat timbal mencapai 0,000582 W/mm².

4.3 Simulasi Proses Pencanaian

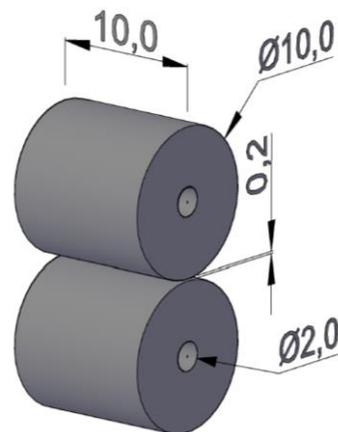
Setelah simulasi *pre treatment*, dilakukan dengan simulasi pencanaian dengan metode ARB. Pada metode ARB terdapat mekanisme penguatan berupa peningkatan dari regangan (*strain hardening*). Mekanisme ini terjadi karena proses pencanaian pada pelat terjadi deformasi secara plastis dan menghasilkan pelat yang lebih tipis serta menyebabkan penumpukan dislokasi [39]. Proses ARB digunakan karena pelat yang akan dilakukan pencanaian dapat memiliki tegangan yang lebih besar hingga dapat menghasilkan kekuatan hingga empat kali lebih besar pula dibandingkan melakukan proses pencanaian menggunakan *roll* konvensional [39]. Tujuan dilakukannya simulasi pencanaian yang dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil tegangan dan regangan ekuivalen dengan variasi material dan lapisan pelat yang berbeda-beda. Selanjutnya hasil simulasi pencanaian ini akan dilakukan verifikasi terhadap penelitian yang dilakukan secara langsung. Variasi material yang digunakan adalah aluminium AA1100-O, tembaga ETP C11000, dan timbal L50042 dengan masing-masing material menggunakan pelat tiga dan empat

lapis yang telah dilakukan proses simulasi *pre treatment* atau pemanasan sebelumnya untuk mendapatkan hasil pencanaian yang lebih baik.

Proses simulasi pencanaian dimulai dengan membuat pelat dan dua *roller* dalam AutoCAD. Ukuran *roller* disesuaikan dengan alat *roll* yang digunakan pada penelitian secara langsung. Bentuk *roller* yang digunakan yaitu tabung pejal dengan ukuran diameter sebesar 10 cm dan tinggi sebesar 10 cm. Selanjutnya *roller* dibuat lubang tengah sebagai poros dengan ukuran diameter sebesar 2 cm. Setelah itu, jarak antara dua *roller* dibuat sebesar 2 mm, hal ini disesuaikan dengan persen reduksi yang digunakan yaitu sebesar 50%. Bentuk *roller* yang digunakan pada penelitian langsung [7] (a) dan secara simulasi (b) dapat dilihat pada Gambar 4.8.



(a)



(b)

Gambar 4.8 Roller Penelitian Langsung [7] (a) dan Simulasi (b) Dalam cm

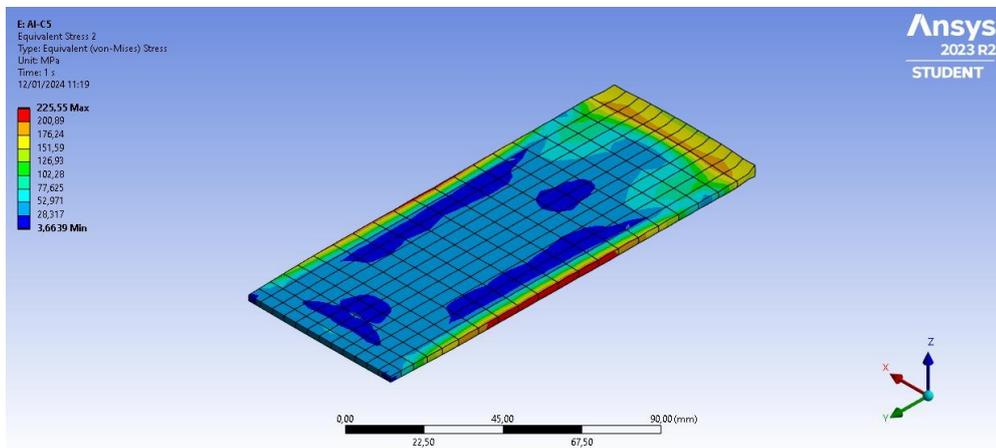
Setelah membuat desain *roller*, desain pelat dibuat juga dengan menggunakan ukuran sesuai dengan kategori lapisan pelat. Untuk pelat dengan tiga lapis menggunakan ukuran dengan panjang pelat 13 cm, lebar 5 cm, dan ketebalan satu lapis pelat 1 mm. Total volume yang didapat pada pelat tiga lapis yaitu sebesar $19,5 \text{ cm}^3$. Lalu untuk pelat dengan empat lapis menggunakan ukuran dengan

panjang pelat 14 cm, lebar 6 cm, dan ketebalan satu lapis pelat 1 mm. Total volume yang didapat pada pelat empat lapis yaitu sebesar 33,6 cm³. Perbedaan ukuran pada pelat tiga lapis dan empat lapis dimaksudkan agar dapat mengontrol antar lapisan pelat, sehingga akan mengurangi delaminasi dengan meminimalkan konsentrasi tegangan dan mendorong ikatan yang lebih seragam [39].

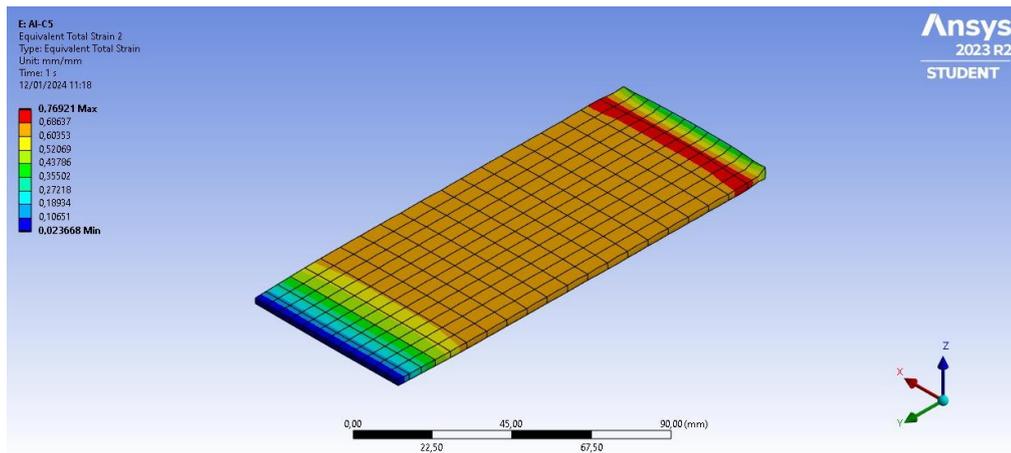
Selanjutnya desain proses pencanaian ini dimasukkan ke dalam ANSYS *Workbench*, tepatnya pada ANSYS *Design Modeler*. Kemudian proses pencanaian diteruskan ke ANSYS *Mechanical* untuk disimulasikan. Dalam ANSYS *Mechanical* diperlukan data material yang digunakan pada pelat, maka dari itu data masing-masing material pada tabel 2.2 (aluminium), tabel 2.3 (tembaga), dan tabel 2.6 (timbal) dimasukkan ke dalam *engineering data*. Kemudian pengaturan pada *meshing* dan *contact* disesuaikan agar simulasi dapat berjalan. Pada pengaturan *contact* diperlukan koefisien gesekan sebesar 0,2. Setelah itu pelat diberikan keterangan temperatur dari hasil *pre treatment* sesuai dengan material dan lapisannya masing-masing. Kemudian hasil tegangan dan regangan dicantumkan untuk mendapatkan hasilnya. Apabila tegangan semakin tinggi, maka akan memungkinkan terbentuknya *missing line* atau ikatan sempurna antar pelat yang dapat menimbulkan peningkatan kekuatan pada pelat [39]. Proses ARB yang dilakukan pada tiga lapis dan empat lapis sebanyak lima kali atau lima siklus. Pengaturan ARB sebanyak lima siklus diatur dalam ANSYS *Workbench*.

Proses ARB ini nantinya akan digunakan untuk penyerap atau absorb radiasi. Parameter yang dibutuhkan agar material tersebut dapat menyerap radiasi antara lain ketebalan yang menipis dan dapat berefek mengurangi *bandwidth*, serta

pengecilan ukuran sel [60], di mana dengan melakukan proses ARB didapatkan reduksi ketebalan sebesar 50% dan pengecilan ukuran nanostruktur [61]. Selain itu, hasil dari proses ARB diharapkan memberikan proteksi untuk *smartphone* dengan memiliki ketahanan, tekukan, dan bantingan yang dapat melindungi *smartphone*, namun dengan ukuran pelat yang lebih tipis. Berikut merupakan gambaran hasil *stress* dan *strain* dari proses pencanaian ARB pada material aluminium tiga lapis yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.



(a)

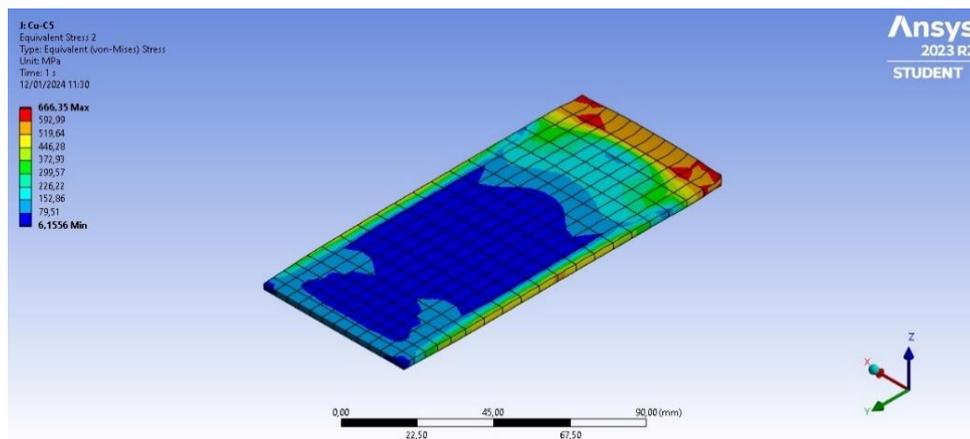


(b)

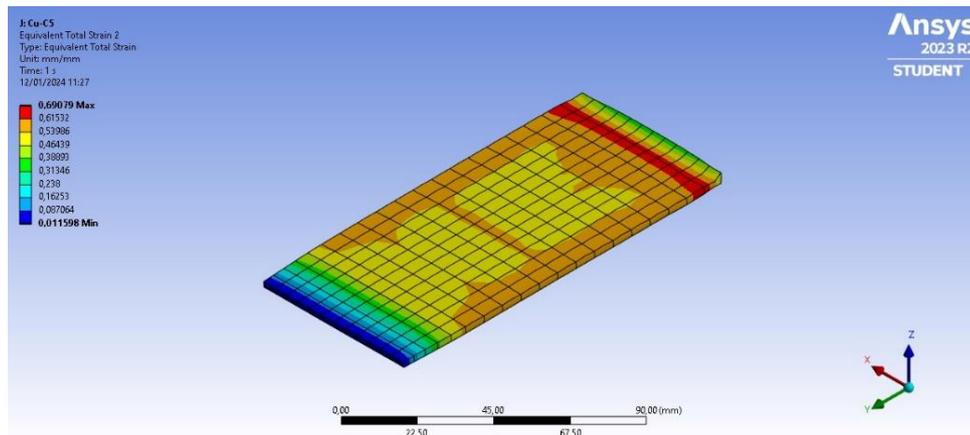
Gambar 4.9 Hasil Pencanaian Aluminium Tiga Lapis (a) *Stress* (b) *Strain*

Distribusi tegangan dapat dilihat pada gambar di atas, di mana tegangan terjadi secara merata dan meninggi ketika permukaan pelat mengenai *roller*. Dapat dilihat pula pada gambaran tegangan tersebut distribusi tegangan yang dihasilkan mencapai rata-rata sebesar 65,4 MPa. Sementara itu, tegangan maksimal yang didapatkan pada bagian belakang pelat sebesar 225,6 MPa.

Pada gambar di atas menunjukkan pula distribusi regangan yang menunjukkan hasil deformasi yang terjadi pada pelat selama simulasi. Gambaran pendistribusian regangan merata ke seluruh permukaan pelat. Namun bagian depan pelat distribusi regangan tidak besar karena bagian depan merupakan titik awal simulasi proses *rolling* dengan nilai minimal sebesar 0,024 mm/mm. Sementara itu, pada bagian belakang merupakan titik maksimal distribusi regangan yaitu sebesar 0,77 mm/mm. Rata-rata dari total pendistribusian regangan ini berkisar 0,55 mm/mm. Berikutnya adalah gambaran hasil *stress* dan *strain* dari proses pencanaian ARB pada material tembaga tiga lapis yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



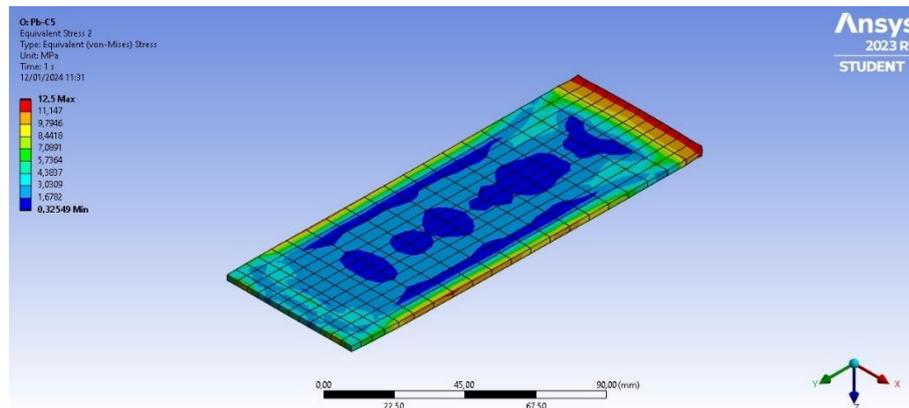
(a)



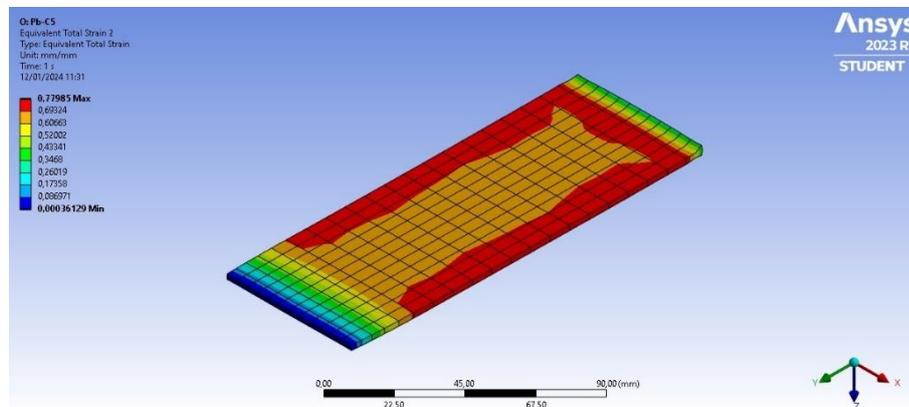
(b)

Gambar 4.10 Hasil Pencanaan Tembaga Tiga Lapis (a) *Stress* (b) *Strain*

Distribusi tegangan dapat dilihat pada gambar di atas, di mana tembaga yang bersifat getas memiliki distribusi tegangan paling tinggi. Hal ini dapat dilihat pada gambaran tersebut distribusi tegangan yang dihasilkan mencapai rata-rata sebesar 174,46 MPa. Tegangan maksimal yang didapatkan pada bagian belakang pelat 666,35 MPa. Pada gambar di atas pula menunjukkan distribusi regangan pada hasil simulasi tembaga tiga lapis. Gambaran pendistribusian regangan merata ke seluruh permukaan pelat. Namun pada bagian depan pelat distribusi regangan tidak besar dengan nilai minimal sebesar 0,012 mm/mm. Pada bagian belakang merupakan titik maksimal distribusi regangan sebesar 0,69 mm/mm. Rata-rata total pendistribusian regangan ini berkisar 0,47 mm/mm. Tembaga memiliki regangan paling kecil karena sifat tembaga sendiri yang lebih getas dibandingkan dengan aluminium dan timbal. Berikutnya adalah gambaran *stress* dan *strain* dari proses pencanaan ARB pada material timbal tiga lapis pada Gambar 4.11.



(a)



(b)

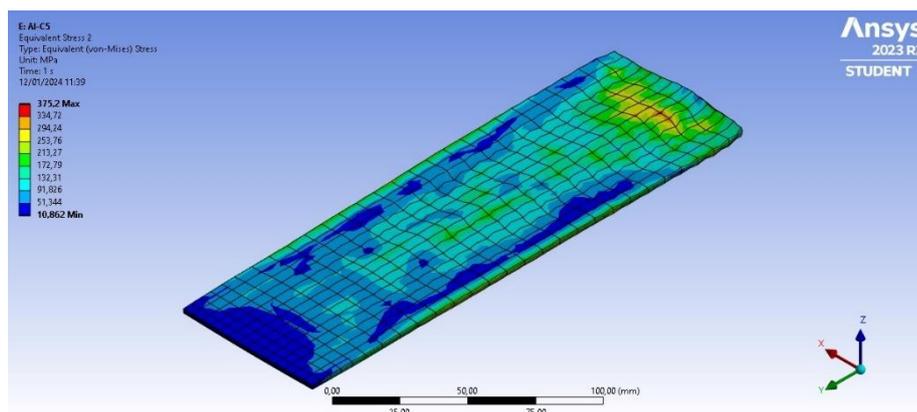
Gambar 4.11 Hasil Pencanaan Timbal Tiga Lapis (a) *Stress* (b) *Strain*

Distribusi tegangan dapat dilihat pada gambar di atas, di mana timbal yang bersifat ulet, sebaliknya memiliki distribusi tegangan paling rendah. Hal ini dapat dilihat pada citra tegangan tersebut distribusi tegangan yang dihasilkan mencapai rata-rata hanya sebesar 3,84 MPa. Sementara itu, tegangan maksimal yang didapatkan pada bagian belakang pelat sebesar 12,5 MPa.

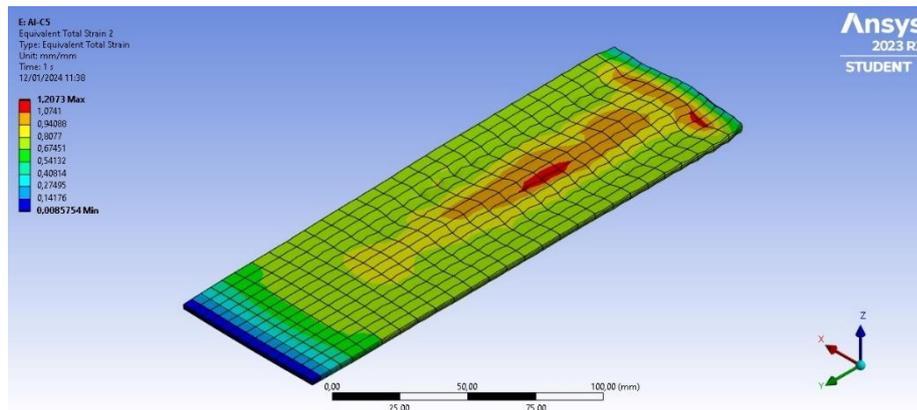
Pada gambar di atas menunjukkan distribusi regangan pada hasil simulasi timbal tiga lapis. Dapat dilihat bahwa gambaran pendistribusian regangan merata pula ke seluruh permukaan pelat. Namun pada bagian depan pelat distribusi

regangan tidak terlalu besar karena bagian depan merupakan titik awal dimulainya simulasi proses *rolling* dengan nilai minimal sebesar 0,00036 mm/mm. Sementara itu, pada bagian belakang merupakan titik maksimal distribusi regangan yaitu sebesar 0,78 mm/mm. Rata-rata dari total pendistribusian regangan ini berkisar 0,59 mm/mm. Timbal yang bersifat ulet ini memiliki regangan paling besar dibandingkan dengan aluminium dan timbal.

Dengan demikian hasil dari simulasi proses pencanaian dari material dengan tiga lapis pelat. Hasil tersebut apabila dibandingkan dengan simulasi proses pencanaian pada material dengan empat lapis pelat, masih lebih kecil. Hal ini disebabkan material dengan empat lapis membutuhkan upaya yang lebih besar dari *roller* untuk melakukan proses pencanaian dikarenakan ketebalan empat lapis lebih tebal dibandingkan dengan tiga lapis. Berikut merupakan gambaran hasil *stress* dan *strain* dari proses pencanaian ARB pada material aluminium empat lapis yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



(a)

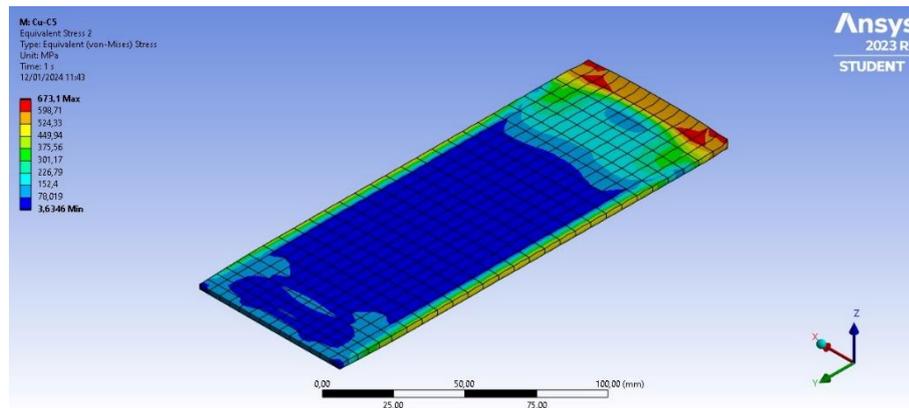


(b)

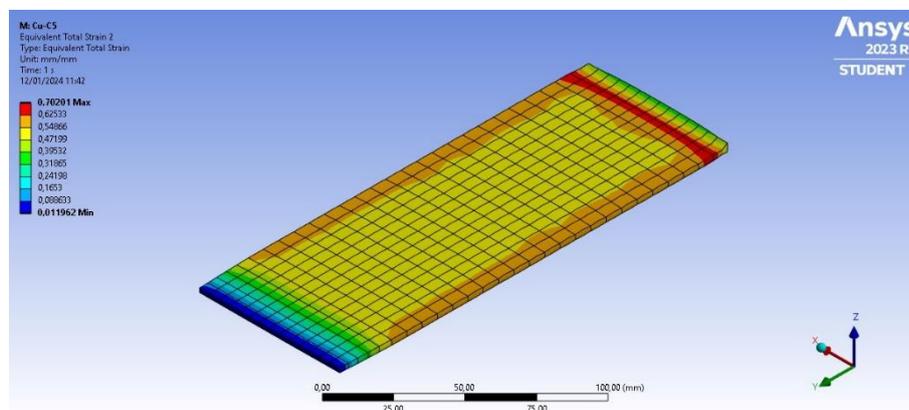
Gambar 4.12 Hasil Pencanaian Aluminium Empat Lapis (a) *Stress* (b) *Strain*

Distribusi tegangan dapat dilihat pada gambar di atas, di mana tegangan terjadi secara merata dan meninggi ketika permukaan pelat mengenai *roller*. Dapat dilihat pula pada gambaran tegangan tersebut distribusi tegangan yang dihasilkan mencapai rata-rata sebesar 93,8 MPa. Sementara itu, tegangan maksimal yang didapatkan pada bagian belakang pelat sebesar 375,2 MPa.

Pada gambar di atas terlihat distribusi regangan yang menunjukkan hasil deformasi yang terjadi pada pelat selama simulasi. Gambaran pendistribusian regangan merata ke seluruh permukaan pelat. Namun bagian depan pelat distribusi regangan tidak besar dengan nilai minimal sebesar 0,0085 mm/mm. Sementara itu, pada bagian belakang merupakan titik maksimal distribusi regangan sebesar 1,2 mm/mm. Rata-rata dari total pendistribusian regangan ini berkisar 0,68 mm/mm. Berikutnya adalah gambaran *stress* dan *strain* dari proses pencanaian ARB pada material tembaga empat lapis pada Gambar 4.13.



(a)

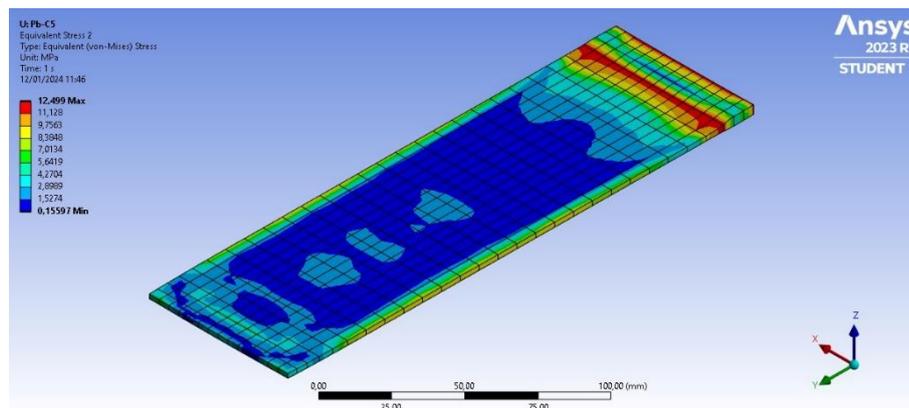


(b)

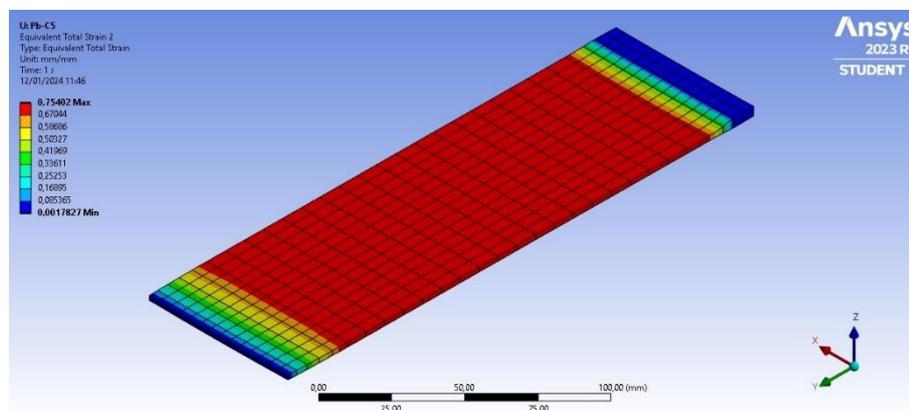
Gambar 4.13 Hasil Pencanaan Tembaga Empat Lapis (a) *Stress* (b) *Strain*

Gambar di atas merupakan hasil *stress* dan *strain* dari proses pencanaan ARB pada material tembaga empat lapis. Distribusi tegangan tembaga dinilai paling tinggi. Hal ini dapat dilihat pada gambaran tersebut distribusi tegangan yang dihasilkan mencapai rata-rata sebesar 149,48 MPa. Tegangan maksimal yang didapatkan pada bagian belakang pelat 673,1 MPa. Pada gambar di atas pula menunjukkan distribusi regangan pada hasil simulasi tembaga tiga lapis. Gambaran pendistribusian regangan merata ke seluruh permukaan pelat. Namun pada bagian

depan pelat distribusi regangan tidak besar dengan nilai minimal sebesar 0,012 mm/mm. Pada bagian belakang merupakan titik maksimal distribusi regangan sebesar 0,7 mm/mm. Rata-rata total pendistribusian regangan ini berkisar 0,49 mm/mm. Berikutnya adalah gambaran *stress* dan *strain* dari proses pencanaian ARB pada material timbal empat lapis pada Gambar 4.14.



(a)



(b)

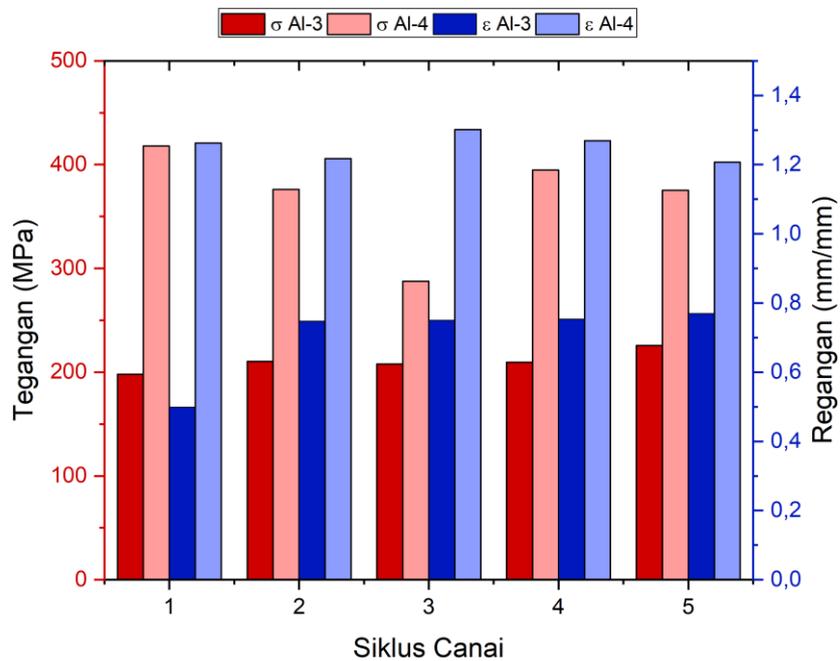
Gambar 4.14 Hasil Pencanaian Timbal Empat Lapis (a) *Stress* (b) *Strain*

Gambar di atas merupakan gambar 4.15 yaitu gambaran hasil *stress* dan *strain* dari proses pencanaian ARB pada material timbal empat lapis. Distribusi

tegangan dapat dilihat pada gambar di atas, di mana timbal yang bersifat ulet, sebaliknya memiliki distribusi tegangan paling rendah. Hal ini dapat dilihat pada gambaran tegangan tersebut distribusi tegangan yang dihasilkan mencapai rata-rata hanya sebesar 3,38 MPa. Sementara itu, tegangan maksimal yang didapatkan pada bagian belakang pelat sebesar 12,5 MPa.

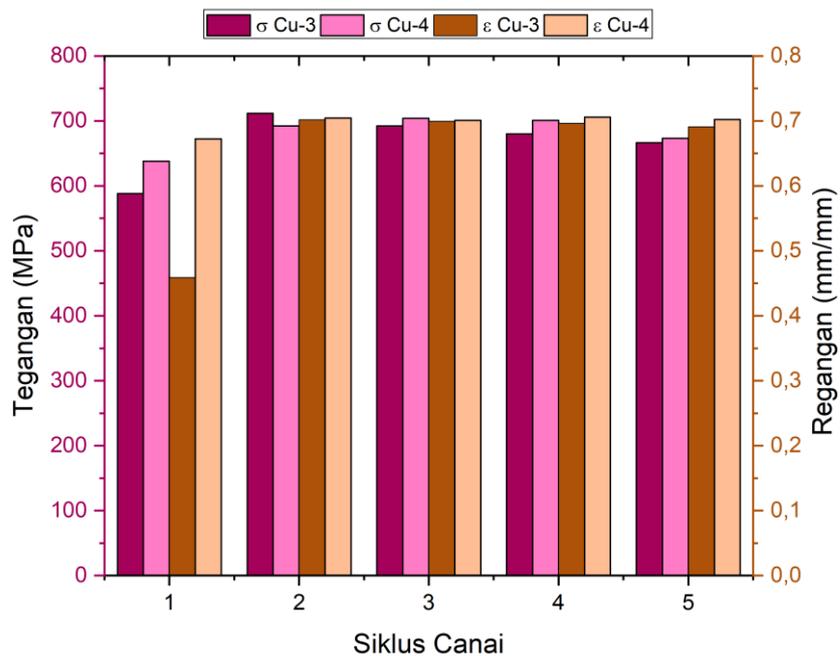
Pada gambar di atas menunjukkan distribusi regangan pada hasil simulasi timbal empat lapis. Dapat dilihat bahwa citra pendistribusian regangan merata pula ke seluruh permukaan pelat. Namun pada bagian depan pelat distribusi regangan tidak terlalu besar karena bagian depan merupakan titik awal dimulainya simulasi proses *rolling* dengan nilai minimal sebesar 0,002 mm/mm. Sementara itu, pada bagian belakang merupakan titik maksimal distribusi regangan yaitu sebesar 0,75 mm/mm. Rata-rata dari total pendistribusian regangan ini berkisar 0,59 mm/mm. Timbal yang bersifat ulet ini memiliki regangan paling besar dibandingkan dengan aluminium dan timbal.

Apabila dipresentasikan dalam bentuk kurva, dapat dibandingkan antara salah satu material dengan perbandingan antara tiga lapis dan empat lapis. Kurva tersebut menyajikan data-data hasil pencanaian berupa maksimum tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dari masing-masing siklus pencanaian yang dilakukan sampai dengan lima siklus pada pelat tiga lapis dan pelat empat lapis. Berikut merupakan kurva tegangan dan regangan aluminium dari pelat tiga lapis dan pelat empat lapis yang dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Tegangan-Regangan Pelat Al 3 Lapis dan 4 Lapis

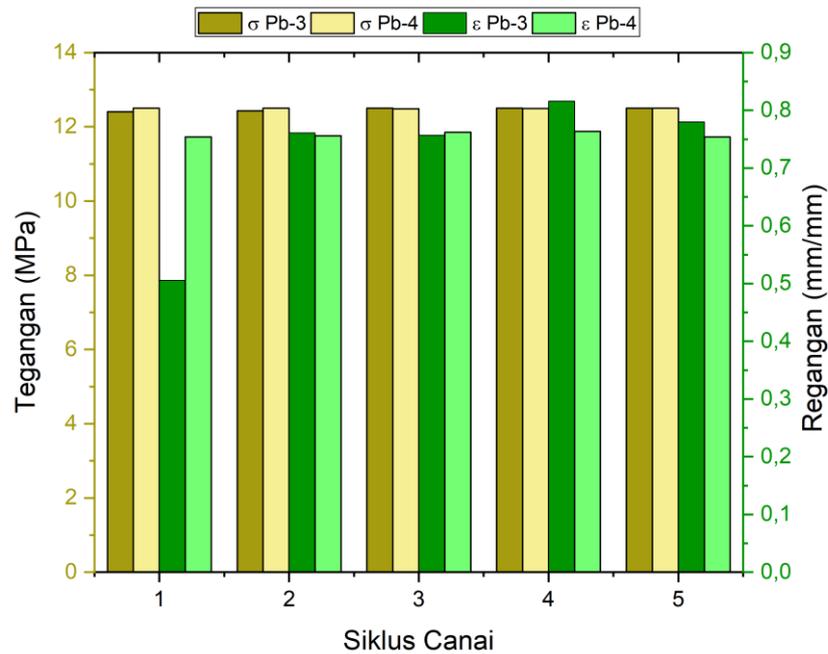
Dapat dilihat pada kurva di atas bahwa rata-rata tegangan dan regangan pelat aluminium empat lapis lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium tiga lapis per siklus. Namun, pada empat lapis terjadi penurunan tegangan yang signifikan khususnya pada siklus ketiga, penurunan ini juga terjadi pada hasil regangan di mana sempat turun di siklus dua lalu naik kembali di siklus ketiga dan terjadi penurunan kembali hingga siklus kelima. Sementara itu, hasil tegangan regangan pada pelat aluminium tiga lapis cenderung meningkat, di mana pada tegangan terjadi peningkatan per siklusnya secara perlahan dan pada regangan sempat terjadi peningkatan yang tinggi dari siklus pertama ke dua. Berikutnya adalah kurva tegangan dan regangan tembaga dari pelat tiga lapis dan pelat empat lapis yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik Tegangan-Regangan Pelat Cu 3 Lapis dan 4 Lapis

Dapat dilihat pada kurva di atas bahwa antara tegangan dan regangan terjadi penurunan dari pelat tembaga tiga lapis dan pelat tembaga empat lapis pada siklus tengah. Pada tegangan yang dihasilkan, pelat tiga lapis sempat mengalami kenaikan yang signifikan dari siklus satu ke dua, namun dari siklus kedua hingga kelima terjadi penurunan yang sedikit drastis. Hal ini berbeda dengan pelat empat lapis di mana siklus satu sampai tiga sempat mengalami kenaikan dan turun setelahnya hingga siklus lima. Sementara itu, pada regangan memiliki hasil naik dan turun, di mana pada pelat tiga lapis sempat terjadi kenaikan signifikan dari siklus satu sampai siklus dua dan terjadi naik turun per siklusnya. Pada hasil regangan empat lapis terjadi pula naik turun namun tidak begitu signifikan dan hasil akhir tersebut tetap melebihi dari hasil siklus awal. Berikutnya merupakan kurva tegangan dan

regangan timbal dari pelat tiga lapis dan pelat empat lapis yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik Tegangan-Regangan Pelat Pb 3 Lapis dan 4 Lapis

Dapat dilihat pada kurva di atas bahwa pelat timbal tiga lapis memiliki hasil tegangan dan regangan yang cukup signifikan, berbeda dengan timbal empat lapis yang tidak signifikan alias cenderung stagnan. Pada hasil tegangan, didapatkan hasil yang signifikan dari siklus satu sampai tiga, namun setelahnya hingga siklus akhir memiliki hasil yang stagnan. Lalu pada hasil pelat empat lapis memiliki tegangan yang sempat turun pada siklus tiga dan naik kembali di siklus empat, namun hasil akhir siklus cenderung menurun dibandingkan hasil dari siklus pertama. Sementara itu, pada hasil regangan terjadi peningkatan yang signifikan pada pelat tiga lapis dimulai dari siklus satu ke siklus dua, namun cenderung

menurun pada siklus empat ke siklus lima meskipun hasil akhir tetap memiliki nilai regangan yang lebih dibandingkan siklus satu. Pada hasil regangan pelat empat cenderung stagnan atau hanya sedikit peningkatan dari siklus satu hingga empat dan pada siklus akhirnya terjadi penurunan yang memiliki kemiripan dengan hasil siklus pertama.

Hasil simulasi di atas selanjutnya dibandingkan dengan hasil penelitian secara langsung. Penelitian secara langsung ini dilakukan oleh Alumni Mahasiswa Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, atas nama Khoirul Rifai Sambilan pada salah satu tugas akhirnya. Pada hasil simulasi pencanaian selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil pencanaian oleh Khoirul Rifai yang ada pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tarik Secara Penelitian Langsung [7]

Sampel	UTS (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongasi (%)
Aluminium 3 Lapis	80,497	75,43	71
Aluminium 4 Lapis	87,617	74,66	74
Tembaga 3 Lapis	211,35	149,84	78
Tembaga 4 Lapis	172,25	128,57	81

Timbal 3	7,680	5,493	63
Lapis			
Timbal 4	9,868	4,020	71
Lapis			

Metode yang digunakan untuk membandingkan antara hasil penelitian langsung dengan hasil penelitian simulasi yaitu metode % kenaikan. Nilai yang diambil dari hasil penelitian langsung oleh Khoirul Rifai, yaitu UTS (*Ultimate Tensile Strength*), dan nilai hasil simulasi yang diambil adalah tegangan ekivalen maksimal. Berikut tabel % kenaikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 % Kenaikan dari UTS [7] dan *Max Stress*

Pelat	UTS [7] (MPa)	<i>Max Stress</i> (MPa)	% Kenaikan
Al-3	80,497	225,55	180%
Al-4	87,617	375,2	328%
Cu-3	211,35	666,35	215%
Cu-4	172,25	673,1	291%
Pb-3	7,68	12,5	63%
Pb-4	9,868	12,499	27%

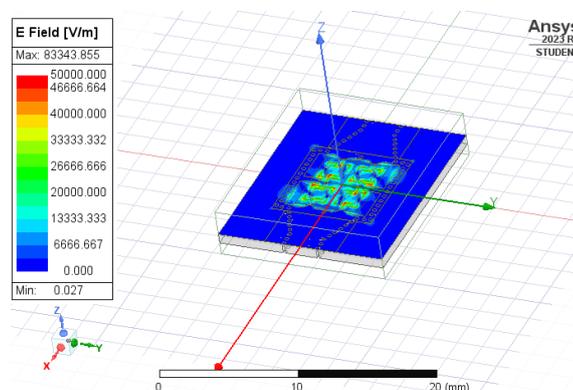
Perbedaan yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor, mengingat proses ARB adalah proses yang kompleks. Faktor penyebabnya adalah koefisien gesekan yang berbeda [40], persen reduksi yang berbeda [62], penggunaan temperatur pemanasan atau *pre treatment* [63], dan tidak adanya karakterisasi material sebelum melakukan penelitian.

4.4 Simulasi Proses Radiasi *Absorber*

Penelitian selanjutnya yaitu simulasi radiasi menggunakan *High Frequency Structural Simulator* (HFSS) yang berada dalam aplikasi ANSYS *Electronic Desktop*. Penelitian dimulai dengan menyiapkan desain CAD antenna SIW *aperture* 5G berdasarkan literatur dari Bisharat, et al [58] di AutoCAD. Lalu memasukkan desain antenna SIW *aperture* 5G beserta pelat yang telah melalui proses pencanaian ke ANSYS HFSS. Kemudian menyesuaikan *boundary condition* dari area radiasi dan mengamati simulasi pancaran radiasi. Terakhir adalah menghitung hasil pola radiasi dari antenna yang telah diberi pelat maupun tidak. Penelitian menggunakan tujuh variasi, yaitu yang pertama tanpa menggunakan pelat hasil proses ARB atau hanya antenna, aluminium tiga lapis dan empat lapis, tembaga tiga lapis dan empat lapis, serta timbal tiga lapis dan empat lapis.

Berdasarkan literatur, batas manusia dalam menangkap radiasi atau *Specific Absorption Rate* (SAR) adalah sebesar 1,6 W/kg, di mana apabila dalam *magnetic field* dengan satuan mikrottesla (μT) memiliki ambang batas aman sebesar 100 μT [64]. Material dapat menjadi *absorber* radiasi memiliki parameter tertentu, yaitu pertama adalah ketebalan yang menipis dan mengurangi *bandwidth*, dan yang kedua adalah ukuran sel yang mengecil [60]. Dikarenakan hasil dari pelat yang telah melakukan proses pencanaian metode ARB menghasilkan ketebalan yang mengecil dan ukuran sel yang mengecil pula, maka dua hal tersebut dapat disesuaikan dengan parameter yang dibutuhkan untuk membuat suatu material yang digunakan sebagai *absorber* radiasi. Material logam yang digunakan pun sesuai pula dengan peruntukannya sebagai *absorber* radiasi.

Sebelum pembahasan lebih lanjut mengenai material *absorber* radiasi, maka radiasi dari antenanya sendiri perlu diperhatikan agar dapat mengetahui berapa persen radiasi yang terserap dari material tersebut. Antena SIW *aperture* 5G merupakan antena planar *aperture* terpolarisasi sirkuler (CP) baru untuk aplikasi gelombang milimeter yang ramah biaya dengan frekuensi yang digunakan pada antena untuk simulasi ini yaitu sebesar 60 GHz. Antena diberikan ruangan sebagai *boundary* radiasi agar dapat diketahui pancaran radiasi yang didapatkan. Pada aplikasi HFSS, menggunakan *e field* atau medan listrik sebagai parameter radiasi yang disebarkan. Satuan medan listrik yang digunakan adalah V/m atau volt per meter. Kemudian satuan ini diubah menjadi mikrottesla (μT) di mana satuan ini merupakan satuan untuk medan magnet atau *magnetic field*. Berikut merupakan gambaran hasil simulasi radiasi antena yang dapat dilihat pada Gambar 4.18.

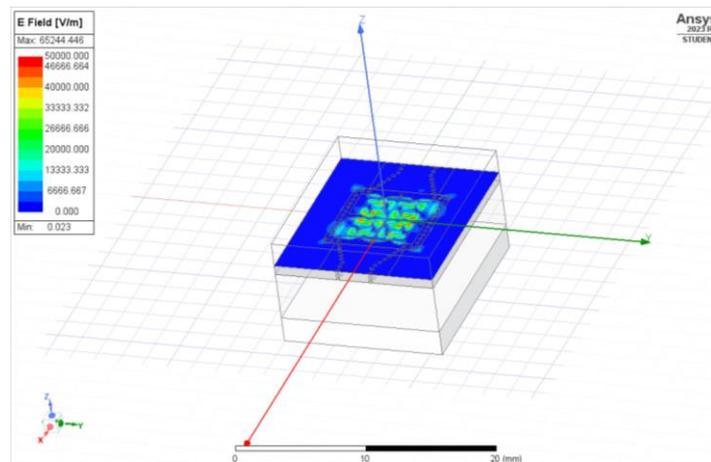


Gambar 4.18 Hasil Simulasi Antena

Dapat dilihat pada gambar di atas bahwa antena SIW *aperture* 5G memiliki radiasi tertinggi sekitar 83.343,855 V/m. Bagian dari antena yang memancarkan radiasi berasal dari tengah antena tersebut, yang mana bagian tersebut adalah permukaan berbahan dasar tembaga. Satuan hasil simulasi tersebut dirubah ke

dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002792 T. Satuan tesla (T) tersebut diubah ke mikrottesla (μT), dengan keterangan $1 \text{ T} = 1.000.000 \mu\text{T}$, maka hasil simulasi apabila diubah ke mikrottesla menjadi 279,2 μT .

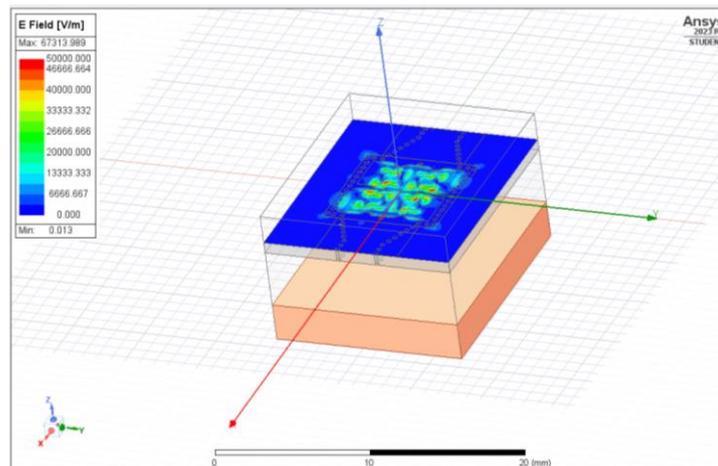
Setelah mengetahui besaran radiasi yang dipancarkan dari antenna, antenna tersebut barulah diberikan pelat material dan lapisannya untuk dilakukan penelitian tentang efek radiasi yang terjadi pada tiap material. Berikut merupakan gambaran hasil simulasi dengan menggunakan aluminium tiga lapis yang ada pada Gambar 4.19 di bawah ini.



Gambar 4.19 Hasil Simulasi Radiasi dengan Aluminium Tiga Lapis

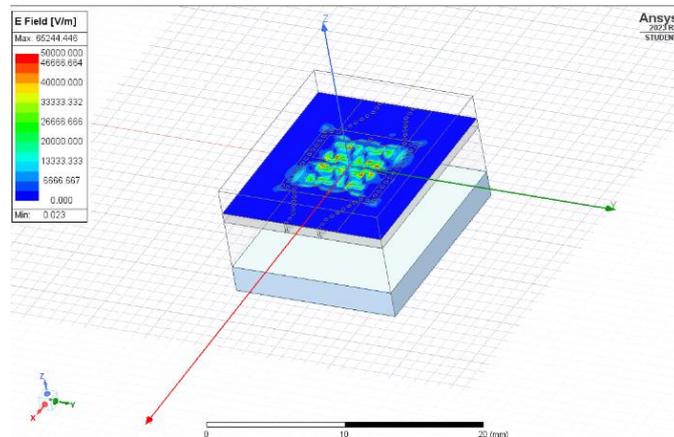
Pada gambar di atas, antara pelat dan antenna diberikan jarak sekitar 4 mm. Pelat diasumsikan dipotong menyesuaikan ukuran panjang kali lebar dari antenna berukuran 15,65 x 13 mm, namun ketebalan sesuai yang dihasilkan dari proses pencanaan ARB, yaitu sebesar 2,1 mm. Dapat dilihat hasil simulasi bahwa aluminium tiga lapis dapat mengurangi radiasi hingga antenna memiliki radiasi tertinggi sekitar 65.244,446 V/m. Bagian dari antenna yang memancarkan radiasi berasal dari tengah antenna tersebut, yang mana bagian tersebut adalah permukaan

berbahan dasar tembaga. Satuan hasil simulasi tersebut diubah ke dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002185 T. Apabila diubah ke mikrotesla (μT), maka hasil simulasi menjadi 218,5 μT . Selanjutnya adalah gambaran hasil simulasi dengan menggunakan tembaga tiga lapis yang ada pada Gambar 4.20 di bawah ini.



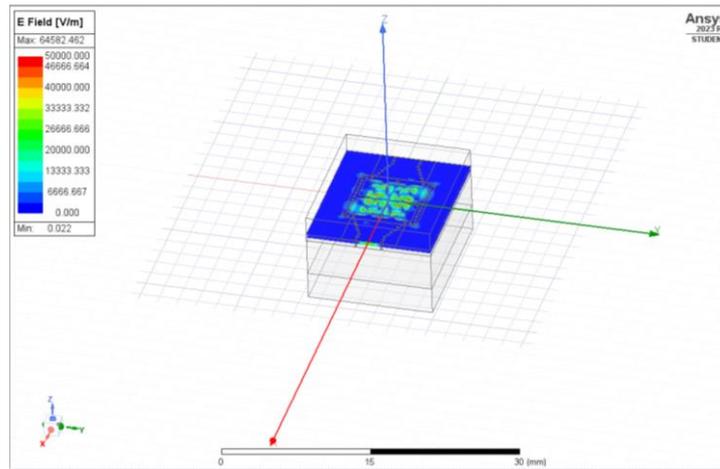
Gambar 4.20 Hasil Simulasi Radiasi dengan Tembaga Tiga Lapis

Pada gambar di atas, antara pelat dan antenna diberikan jarak sekitar 4 mm. Pelat diasumsikan dipotong menyesuaikan ukuran panjang kali lebar dari antenna berukuran 15,65 x 13 mm, dengan ketebalannya sebesar 2,6 mm. Dapat dilihat hasil simulasi bahwa tembaga tiga lapis dapat mengurangi radiasi hingga antenna memiliki radiasi tertinggi sekitar 67.313,99 V/m. Satuan hasil simulasi tersebut diubah ke dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002255 T. Apabila diubah ke mikrotesla (μT), maka hasil simulasi menjadi 225,5 μT . Selanjutnya adalah gambaran hasil simulasi menggunakan timbal tiga lapis pada Gambar 4.21.



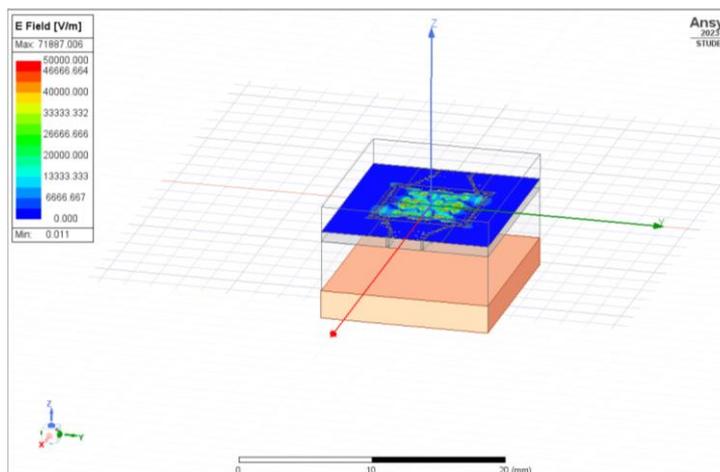
Gambar 4.21 Hasil Simulasi Radiasi dengan Timbal Tiga Lapis

Pada gambar di atas, antara pelat dan antenna diberikan jarak sekitar 4 mm. Pelat diasumsikan dipotong menyesuaikan ukuran panjang kali lebar dari antenna berukuran 15,65 x 13 mm, namun ketebalan sesuai yang dihasilkan dari proses pencanaan ARB, yaitu sebesar 2,1 mm. Dapat dilihat hasil simulasi bahwa timbal tiga lapis dapat mengurangi radiasi hingga antenna memiliki radiasi tertinggi sekitar 65.244,446 V/m. Bagian dari antenna yang memancarkan radiasi berasal dari tengah antenna tersebut, yang mana bagian tersebut adalah permukaan berbahan dasar tembaga. Satuan hasil simulasi tersebut diubah ke dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002185 T. Apabila diubah ke mikrotesla (μT), dengan keterangan $1 \text{ T} = 1.000.000 \mu\text{T}$ maka hasil simulasi menjadi 218,5 μT . Selanjutnya adalah gambaran hasil simulasi dengan menggunakan aluminium empat lapis yang ada pada Gambar 4.22 di bawah ini.



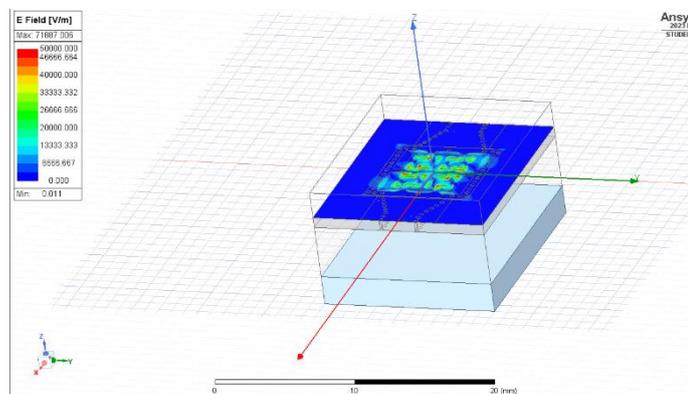
Gambar 4.22 Hasil Simulasi Radiasi dengan Aluminium Empat Lapis

Pada gambar di atas, antara pelat dan antenna diberikan jarak sekitar 4 mm. Pelat diasumsikan dipotong, dengan ketebalannya sebesar 2,9 mm. Dapat dilihat hasil simulasi bahwa aluminium empat lapis mengurangi radiasi hingga antenna memiliki radiasi tertinggi sekitar 64.582,46 V/m. Satuan hasil simulasi tersebut diubah ke dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002163 T. Apabila diubah ke mikrotesla (μT), maka hasil simulasi menjadi 216,3 μT . Berikutnya gambaran hasil simulasi menggunakan tembaga empat lapis yang ada pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Hasil Simulasi Radiasi dengan Tembaga Empat Lapis

Pada gambar di atas, antara pelat dan antenna diberikan jarak sekitar 4 mm. Pelat diasumsikan dipotong, dengan ketebalannya sebesar 2,2 mm. Dapat dilihat hasil simulasi bahwa tembaga empat lapis mengurangi radiasi hingga antenna memiliki radiasi tertinggi sekitar 71.887,01 V/m. Satuan hasil simulasi tersebut diubah ke dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002408 T. Apabila diubah ke mikrotesla (μT), maka hasil simulasi menjadi 240,8 μT . Berikutnya gambaran hasil simulasi menggunakan timbal empat lapis yang ada pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Hasil Simulasi Radiasi dengan Timbal Empat Lapis

Pada gambar di atas, antara pelat dan antenna diberikan jarak sekitar 4 mm. Pelat diasumsikan dipotong, dengan ketebalannya sebesar 2,2 mm. Dapat dilihat hasil simulasi bahwa timbal empat lapis mengurangi radiasi hingga antenna memiliki radiasi tertinggi sekitar 71.887,01 V/m. Satuan hasil simulasi tersebut diubah ke dalam bentuk tesla dan menghasilkan 0,0002408 T. Apabila diubah ke mikrotesla (μT), maka hasil simulasi menjadi 240,8 μT .

Hasil simulasi di atas selanjutnya dibandingkan dengan hasil radiasi yang dilakukan secara langsung dalam tugas akhir yang dibuat oleh Khoirul Rifai, menggunakan hasil radiasi yang telah dirata-ratakan dari pelindung plastik dan dua

pelindung keramik yang berbeda, serta dari tiga ponsel yang berbeda pula. Berikut merupakan tabel perbandingan hasil radiasi secara langsung dan secara simulasi pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Hasil Radiasi Pengujian Langsung [7] dan Pengujian Simulasi

Penggunaan Pelat	Radiasi Ponsel [7] (μT)	% Absorbansi	<i>Max. Magnetic Field</i> (μT)	% Absorbansi
Tidak Ada	22,2222	0%	279,20	0%
Al 3 Lapis	3,28778	85%	218,50	22%
Al 4 Lapis	2,52556	89%	216,30	23%
Cu 3 Lapis	2,28	90%	225,50	19%
Cu 4 Lapis	1,68111	92%	240,80	14%
Pb 3 Lapis	1,07	95%	218,50	22%
Pb 4 Lapis	0,77222	97%	240,80	14%

Dapat dilihat pada Tabel 4.7, didapatkan persentase absorbansi antara pemancar radiasi (antena atau *smartphone*) tanpa pelat dengan pemancar radiasi dilindungi pelat memiliki persentase absorbansi yang terpaut jauh. Persentase absorbansi radiasi dalam simulasi memiliki rata-rata sekitar 19%, sementara itu persentase absorbansi radiasi dalam penelitian langsung memiliki rata-rata sekitar 91%. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, di antaranya adalah kurangnya karakterisasi pada material pada penelitian langsung, kurangnya pencocokan *material properties* pada simulasi radiasi, dan hasil dari simulasi pencapaian ARB yang kurang maksimal.

Bab V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data penelitian yang telah dikumpulkan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Perlakuan pemanasan atau *pre treatment* pada temperatur aluminium tiga lapis sebesar 342,82°C dan empat lapis sebesar 342,7°C; tembaga tiga lapis sebesar 380,85°C dan empat lapis sebesar 370,67°C; serta timbal tiga lapis sebesar 229,67°C dan empat lapis sebesar 229,92°C dapat berpengaruh terhadap hasil proses pencanaian selanjutnya, ditandai dengan adanya peningkatan pada hasil tegangan dan regangan dari masing-masing pelat.
2. Nilai kekuatan material yang dilakukan pada simulasi menghasilkan kenaikan dengan rata-rata hingga 184%, di mana kenaikan tertinggi terjadi pada aluminium empat lapis, yaitu sebesar 328%. Sementara itu kenaikan terendah terjadi pada timbal empat lapis, yaitu sebesar 27%. Perbedaan hasil tersebut dapat terjadi dengan faktor antara lain koefisien gesekan yang berbeda, persen reduksi yang berbeda, penggunaan temperatur pemanasan atau *pre treatment*, dan tidak adanya karakterisasi material sebelum melakukan penelitian.
3. Hasil penelitian material radiasi *absorber* antara penelitian langsung dengan penelitian simulasi memiliki perbedaan. Penelitian langsung

dapat mengabsorb radiasi dengan rata-rata hingga 91%, sementara itu penelitian simulasi rata-rata sebesar 19%. Pada penelitian simulasi didapatkan material *absorber* radiasi tertinggi terjadi pada aluminium empat lapis, yaitu sebesar 216,3 μ T, dengan %absorbansi sebesar 23%, sementara itu material *absorber* radiasi paling sedikit terjadi pada timbal empat lapis dan tembaga empat lapis, yaitu sebesar 240,8 μ T, dengan selisih hanya sebesar 14%. Perbedaan hasil tersebut dapat terjadi dengan faktor antara lain kurangnya karakterisasi pada material pada penelitian langsung, kurangnya penyesuaian *material properties* pada simulasi radiasi, dan hasil dari simulasi pencapaian ARB yang kurang maksimal.

5.2 Saran

Dari penelitian simulasi yang telah dikumpulkan, maka dapat diambil saran antara lain:

1. Perlunya ada karakterisasi terlebih dahulu antara penelitian langsung dengan penelitian simulasi.
2. Penggunaan koefisien gesekan yang disesuaikan antar material yang dilakukan, baik pada penelitian langsung ataupun penelitian simulasi.
3. Penyesuaian *material properties* pada material yang digunakan saat penelitian simulasi radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Woyke, *The Smartphone: Anatomy of an industry*. The new press, 2014.
- [2] “Smartphone market in Indonesia - Statistics and facts,” Statista Research Department. Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.statista.com/topics/5020/smartphones-in-indonesia/#topicOverview>
- [3] The Editors of Encyclopedia, “Electromagnetic Field,” Britannica. Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-field>
- [4] N. Maregu, “Long term exposure of mobile phone radiation and human health,” *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 6, no. 8, pp. 22–30, 2016.
- [5] T. Ben Rashid, *Analysis of Biological Effects of Cell Phone Radiation on Human Body Using Specific Absorption Rate (SAR) and Thermoregulatory Response*. University of Colorado Colorado Springs, 2017.
- [6] G. Faraji, H. S. Kim, and H. T. Kashi, “Chapter 3 - Severe Plastic Deformation Methods for Sheets,” in *Severe Plastic Deformation*, G. Faraji, H. S. Kim, and H. T. Kashi, Eds., Elsevier, 2018, pp. 113–129. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813518-1.00003-5>.
- [7] K. Rifai S, “Studi Pendahuluan Karakteristik Casing Smartphone Peredam Radiasi Melalui Teknik Accumulative Roll Bonding dengan Variasi Logam Al, Cu dan Pb,” Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 2023.
- [8] R. Coulling, “Investigating Smartphones-there’s a theory for that: Smartphones as an Assemblage and Apparatus,” 2014.
- [9] K. G. S. Venkatesan, “Comparison of CDMA & GSM Mobile Technology,” *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 13, no. 12, pp. 1590–1594, 2013.
- [10] GSM Arena, “SAR Head & Body.” Accessed: Feb. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.gsmarena.com/>
- [11] R. Buckus, B. Strucinskiene, and J. Raistenskis, “The assessment of electromagnetic field radiation exposure for mobile phone users,” *Vojnosanit Pregl*, vol. 71, no. 12, pp. 1138–1143, 2014, doi: 10.2298/VSP140119013B.

- [12] R. Percuoco, "Plain Radiographic Imaging," in *Clinical Imaging*, Elsevier, 2014, pp. 1–43. doi: 10.1016/B978-0-323-08495-6.00001-4.
- [13] Melba Phillips and Hellmut Fritzsche, "electromagnetic radiation," *Encyclopaedia Britannica Inc.* Accessed: Mar. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation>
- [14] O. Erogul et al., "Effects of Electromagnetic Radiation from a Cellular Phone on Human Sperm Motility: An In Vitro Study," *Arch Med Res*, vol. 37, no. 7, pp. 840–843, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.arcmed.2006.05.003.
- [15] A. Keykhosravi, M. Neamatshahi, R. Mahmoodi, and E. Navipour, "Radiation Effects of Mobile Phones and Tablets on the Skin: A Systematic Review," *Adv Med*, vol. 2018, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1155/2018/9242718.
- [16] H. J. Visser, *Antenna Theory and Applications*. John Wiley & Sons, 2012.
- [17] C. A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*. Hoboken, New Jersey Wiley, 2016.
- [18] Y. Huang and K. Boyle, *Antennas*. John Wiley & Sons, 2008.
- [19] T. Trzepieciński, S. M. Najm, V. Oleksik, D. Vasilca, I. Paniti, and M. Szpunar, "Recent Developments and Future Challenges in Incremental Sheet Forming of Aluminium and Aluminium Alloy Sheets," *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 1, p. 124, Jan. 2022, doi: 10.3390/met12010124.
- [20] R. Lumley, *Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications*. Elsevier, 2010.
- [21] D. Perkins, *Mineralogy: Pearson New International Edition*. Pearson Education, 2013. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=m0ypBwAAQBAJ>
- [22] Metalmen, "Aluminum 1100 Properties & Products," <https://www.metalmensales.com/aluminum-1100-properties-products/>.
- [23] United Aluminum, "Aluminum Alloy 1100 Data Sheet," <https://unitedaluminum.com/1100-aluminum-alloy/>.
- [24] E. E. Alvarado, I. A. Figueroa, and G. Gonzalez, "Microstructural and Mechanical Analysis of an 1100 Aluminum Alloy Processed by Repetitive Corrugation and Straightening," *Physics of Metals and Metallography*, vol. 121, no. 13, pp. 1319–1325, Dec. 2020, doi: 10.1134/S0031918X20130025.

- [25] E. Rambung and V. P. Kalanjati, "Aluminum foil shield diminishes the electromagnetic radiation of mobile phones in the cerebellum of adult male rats," 2018.
- [26] Material Property Data, "Material Compare," MatWeb. Accessed: Mar. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.matweb.com/folders/Compare.aspx?FolderID=4273992>
- [27] ASM International, "Alcoa 6013 aerospace aluminum chosen by Samsung for Galaxy S6 smartphone." Accessed: Feb. 05, 2024. [Online]. Available: https://www.asminternational.org/ims/news/-/journal_content/56/10180/25545915/NEWS;jsessionid=FD29AA2960AF08CB55C660C3723DBE02/?p_p_col_count=4&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=2&p_p_id=webcontentresults_WAR_webcontentsearchportlet_INSTANCE_35iDxUvqEPc6&p_p_lifecycle=0&p_p_mode=view&p_p_state=normal
- [28] R. J. Sinclair, *The extractive metallurgy of lead*. AusIMM Carlton, 2009.
- [29] A. Rosihan and H. Husaini, "Logam berat sekitar manusia," 2017, Pustaka Buana.
- [30] C. J. Boreiko, "SAFETY | Materials Toxicity," in *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier, 2009, pp. 233–240. doi: 10.1016/B978-044452745-5.00393-2.
- [31] S. Lyon, "Corrosion of Lead and its Alloys," *Shreir's Corrosion*, pp. 2053–2067, Dec. 2010, doi: 10.1016/B978-044452787-5.00098-6.
- [32] M. E. Schlesinger, K. C. Sole, and W. G. Davenport, *Extractive Metallurgy of Copper*. Elsevier Science, 2011. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=bcwiQepD2yYC>
- [33] R. Bonewitz, M. Carruthers, and R. Efthim, *Rock and minerals: the definitive visual guide*. Dorling Kindersley Limited, 2008.
- [34] M. Sahan, M. Kucuker, B. Demirel, K. Kuchta, and A. Hursthouse, "Determination of Metal Content of Waste Mobile Phones and Estimation of Their Recovery Potential in Turkey," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 16, no. 5, p. 887, 2019, doi: 10.3390/ijerph16050887.
- [35] M. Kutz, *Mechanical engineers' handbook*. John Wiley & Sons Inc, 2015.
- [36] ASM International, "UNS C10100," *Alloy Digest*, vol. 37, no. 5, May 1988, doi: 10.31399/asm.ad.cu0538.

- [37] N. Tsuji, “Bulk nanostructured metals and alloys produced by accumulative roll-bonding,” in *Nanostructured Metals and Alloys*, Elsevier, 2011, pp. 40–58. doi: 10.1533/9780857091123.1.40.
- [38] C. M. Cepeda-Jiménez and M. T. Pérez-Prado, “4.12 Processing of Nanoparticulate Metal Matrix Composites,” in *Comprehensive Composite Materials II*, Elsevier, 2018, pp. 313–330. doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.09984-7.
- [39] A. Pramono, L. Kollo, and R. Veinthal, “Hot and cold regions during accumulative roll bonding of Al/Al₂O₃ nanofibre composites,” *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 65, no. 2, p. 132, 2016, doi: 10.3176/proc.2016.2.12.
- [40] Y. Saito, H. Utsunomiya, N. Tsuji, and T. Sakai, “Novel ultra-high straining process for bulk materials—development of the accumulative roll-bonding (ARB) process,” *Acta Mater*, vol. 47, no. 2, pp. 579–583, 1999, doi: 10.1016/s1359-6454(98)00365-6.
- [41] D. J. Panagopoulos and G. P. Chrousos, “Shielding methods and products against man-made Electromagnetic Fields: Protection versus risk,” *Science of The Total Environment*, vol. 667, pp. 255–262, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.344.
- [42] H. M. Zandrato, R. Meilano, J. Bukit, and M. Simorangkir, “Anti Radiation Case from Paper Waste for Smarthphone,” vol. 5, no. 7, pp. 1–6, 2018.
- [43] DefenderShield, “DefenderShield 5G EMF Protection Universal Phone Case,” Anti-radiation. Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://anti-radiation.co.uk/products/universal-emf-phone-case>
- [44] SafeSleeve, “SAFESLEEVE FOR SAMSUNG GALAXY S5, S6 EDGE, S7 EDGE, NOTE 5, J3, AND J7,” SafeSleeve Cases.
- [45] Shield Your Body, “SYB Phone Pouch by Shield Your Body,” EMSafe by Shopify. Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://emfsafeshop.com/products/syb-phone-pouch-by-shield-your-body>
- [46] M. Canada, *Time-Averaged Specific Absorption Rate (TAS) Assessment Procedures for Wireless Devices Operating in the 4 MHz to 6 GHz Frequency Band*. Innovation, Science and Economy Development Canada, 2021.
- [47] ICNIRP, “Frequently Asked Questions related to the ICNIRP RF EMF Guidelines 2020.” Accessed: Jun. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.icnirp.org/en/rf-faq/index.html>

- [48] C. A. Grimes and D. M. Grimes, “Permeability and permittivity spectra of granular materials,” *Phys Rev B*, vol. 43, no. 13, pp. 10780–10788, May 1991, doi: 10.1103/PhysRevB.43.10780.
- [49] R. Dosoudil, M. Usakova, A. Gruskova, and J. Slama, “Influence of the Synthesis Method of Filler on Permeability and Microwave Absorption Properties of Ferrite/Polymer Composites,” *IEEE Trans Magn*, vol. 50, no. 4, pp. 1–4, Apr. 2014, doi: 10.1109/TMAG.2013.2286452.
- [50] E. Madenci and I. Guven, *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS®*. Springer US, 2015. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=aJKeBgAAQBAJ>
- [51] Y. Nakasone, S. Yoshimoto, and T. A. Stolarski, “Overview of ANSYS Structure and Visual Capabilities,” in *Engineering Analysis with ANSYS Software*, Elsevier, 2006, pp. 37–50. doi: 10.1016/B978-075066875-0/50032-6.
- [52] X. Chen and Y. Liu, *Finite element modeling and simulation with ANSYS Workbench*, Second. CRC press, 2013.
- [53] H. H. Lee, *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2022: Theory, Applications, Case Studies*. SDC Publications, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=EV5wEAAAQBAJ>
- [54] C. Technologies and S. Tickoo, *ANSYS Workbench 14.0: A Tutorial Approach*. CADCIM, 2012.
- [55] ANSYS, “Ansys HFSS,” ANSYS Inc. Accessed: Mar. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>
- [56] G. Carosi, G. Rybka, and K. van Bibber, *Microwave Cavities and Detectors for Axion Research: Proceedings of the 2nd International Workshop*. in *Springer Proceedings in Physics*. Springer International Publishing, 2018. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=iMRIDwAAQBAJ>
- [57] M. Kopp, *An Introduction to HFSS: Fundamental Principles, Concepts, and Use*. Canonsburg: ANSYS Inc., 2013.
- [58] D. J. Bisharat, S. Liao, and Q. Xue, “High Gain and Low Cost Differentially Fed Circularly Polarized Planar Aperture Antenna for Broadband Millimeter-Wave Applications,” *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 64, no. 1, pp. 33–42, 2016, doi: 10.1109/TAP.2015.2499750.

- [59] Z. Wang, H. Tong, Z. Wang, H. Yang, Y. Wei, and Y. Qian, "Effect of Gap Length and Partition Thickness on Thermal Boundary Layer in Thermal Convection," *Entropy*, vol. 25, no. 2, p. 386, Feb. 2023, doi: 10.3390/e25020386.
- [60] C. Gao, X. He, F. Ye, S. Wang, and G. Zhang, "Electromagnetic Wave Absorption and Mechanical Properties of CNTs@GN@Fe₃O₄/PU Multilayer Composite Foam," *Materials*, vol. 14, no. 23, p. 7244, Nov. 2021, doi: 10.3390/ma14237244.
- [61] Y. M. Almaetah, K. N. Abushgair, and M. A. Hamdan, "Aluminium Alloys Nanostructures Produced by Accumulative Roll Bonding (ARB).," *Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering*, vol. 15, no. 4, 2021.
- [62] H. L. Yu, C. Lu, A. K. Tieu, and C. Kong, "Fabrication of Nanostructured Aluminum Sheets Using Four-Layer Accumulative Roll Bonding," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 29, no. 4, pp. 448–453, Apr. 2014, doi: 10.1080/10426914.2013.872259.
- [63] A. Pramono, A. Yolanda, and A. A. Alhamidi, "Pre-heating of multi-axial forging (MAF) on aluminum based composites," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 478, p. 012029, Feb. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/478/1/012029.
- [64] C. Woolston, "How strong are different magnetic fields?," *Los Angeles Times*. Accessed: Jul. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.latimes.com/health/la-he-electromagnetic-types15-2010feb15-story.html>

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

A.1 Perhitungan % Kenaikan Hasil ARB

Rumus % kenaikan:

$$\% \text{ Kenaikan} = \frac{\text{Max Stress} - \text{UTS}}{\text{UTS}} \times 100\%$$

% Kenaikan pada hasil ARB dari aluminium tiga lapis:

$$\% \text{ Kenaikan} = \frac{225,55 - 80,497}{80,497} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kenaikan} = 180\%$$

A.2 Perhitungan Rata-Rata % Kenaikan Hasil ARB

Rumus rata-rata %kenaikan:

$$\overline{\% \text{ Kenaikan}} = \frac{\text{Al 3 lapis} + \text{Cu 3 Lapis} + \text{Pb 3 lapis} + \text{Al 4 lapis} + \text{Cu 4 lapis} + \text{Pb 4 lapis}}{6}$$

$$\overline{\% \text{ Kenaikan}} = \frac{180\% + 328\% + 215\% + 291\% + 63\% + 27\%}{6}$$

$$\overline{\% \text{ Kenaikan}} = 184\%$$

A.3 Perhitungan Konversi dari V/m ke μT

Rumus konversi dari V/m (*E Field*) ke T (*H Field*):

$$H = \frac{E}{2,9851 \times 10^8}$$

Konversi dari V/m ke μT pada tembaga tiga lapis:

$$H = \frac{67.313,989}{2,9851 \times 10^8}$$

$$H = 0,0002255 \text{ T}$$

Apabila 1 T = 1.000.000 μT , maka 0,0002255 T = 225,5 μT

A.4 Perhitungan % Absorbansi Material Radiasi *Absorber*

Rumus % Absorbansi material radiasi *absorber*:

$$\% \text{ Absorbansi} = \left| \frac{\text{Pelat Material} - \text{Tanpa Pelat}}{\text{Tanpa Pelat}} \right| \times 100\%$$

% Absorbansi pada timbal tiga lapis:

$$\% \text{ Absorbansi} = \left| \frac{218,5 - 279,2}{279,2} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ Absorbansi} = 22\%$$

A.5 Perhitungan Rata-Rata % Absorbansi Material Radiasi *Absorber*

Rumus rata-rata % absorbansi material radiasi *absorber*:

$$\overline{\% \text{ Absorbansi}} = \frac{(\text{Al } 3\text{L} + \text{Cu } 3\text{L} + \text{Pb } 3\text{L} + \text{Al } 4\text{L} + \text{Cu } 4\text{L} + \text{Pb } 4\text{L})^*}{6}$$

$$\overline{\% \text{ Absorbansi}} = \frac{218,5 + 216,3 + 225,5 + 240,8 + 218,5 + 240,8}{6}$$

$$\overline{\% \text{ Absorbansi}} = 19\%$$

* Keterangan:

3L = Tiga Lapis

4L = Empat Lapis

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

Lampiran B. Data Hasil Penelitian

B.1 Tabel Hasil Simulasi Pemanasan

Tabel B.1 Hasil Temperatur pada Simulasi Pemanasan Pelat Tiga Lapis

Al		Cu		Pb	
Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)
1,2	52,216	1	55,734	3,3	39,439
2,4	76,701	2	83,298	4,4	44,07
6	134,09	5	147,33	5,5	48,577
12,557	203,72	10,243	221,88	8,8	61,169
19,126	250,19	15,495	271,63	18,7	92,287
25,693	281,16	20,746	304,78	41,799	140,32
32,26	301,79	25,997	326,88	64,207	171,24
38,827	315,54	31,248	341,6	86,08	191,36
45,395	324,7	36,499	351,41	107,95	204,63
51,962	330,81	41,75	357,94	129,83	213,37
58,529	334,88	47,001	362,3	151,7	219,1
65,096	337,59	52,252	365,2	173,57	222,86
71,664	339,39	57,503	367,14	195,45	225,33
78,231	340,6	62,754	368,43	217,32	226,94
84,798	341,4	68,005	369,29	239,19	228
91,365	341,93	73,256	369,86	261,06	228,69

97,933	342,29	78,507	370,24	282,94	229,14
104,5	342,53	83,758	370,49	304,81	229,44
111,07	342,68	89,009	370,66	317,41	229,57
117,63	342,79	94,259	370,77	330	229,67
120	342,82	100	370,85		

Tabel B.2 Hasil Temperatur pada Simulasi Pemanasan Pelat Empat Lapis

Al		Cu		Pb	
Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)
1,5	50,476	1,2	52,732	5,4	42,281
3	73,467	2,4	77,758	7,2	47,796
7,5	128,16	6	137,28	9	53,138
16,337	199,7	13,065	215,11	14,4	67,853
25,201	247,51	20,152	267,12	30,6	102,82
34,063	279,37	27,239	301,78	46,8	130,46
42,926	300,6	34,326	324,87	77,22	164,89
51,789	314,75	41,413	340,26	106,85	187,18
60,652	324,18	48,5	350,52	135,92	201,75
69,515	330,46	55,586	357,35	164,98	211,38
78,377	334,64	62,673	361,91	194,04	217,74
87,24	337,43	69,76	364,94	223,11	221,93
96,103	339,29	76,847	366,96	252,17	224,69

104,97	340,53	83,934	368,31	281,24	226,51
113,83	341,35	91,02	369,21	310,3	227,71
122,69	341,9	98,107	369,81	339,37	228,49
131,55	342,27	105,19	370,2	368,43	229,01
140,42	342,51	112,28	370,47	397,5	229,35
145,21	342,62	116,14	370,58	426,56	229,57
150	342,7	120	370,67	455,63	229,72
				484,69	229,81
				513,76	229,88
				540	229,92

Tabel B.3 Hasil *Heat Flux* pada Simulasi Pemanasan Pelat Tiga Lapis

Al		Cu		Pb	
Waktu (detik)	<i>Heat Flux</i> (W/mm ²)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	<i>Heat Flux</i> (W/mm ²)
1,2	0,10758	1	0,20464	3,3	1,04E-02
2,4	0,10924	2	0,20697	4,4	1,08E-02
6	9,20E-02	5	0,17253	5,5	1,10E-02
12,557	6,38E-02	10,243	0,11955	8,8	1,08E-02
19,126	4,34E-02	15,495	8,12E-02	18,7	9,28E-03
25,693	2,92E-02	20,746	5,46E-02	41,799	6,29E-03
32,26	1,95E-02	25,997	3,66E-02	64,207	4,20E-03
38,827	1,31E-02	31,248	2,44E-02	86,08	2,79E-03

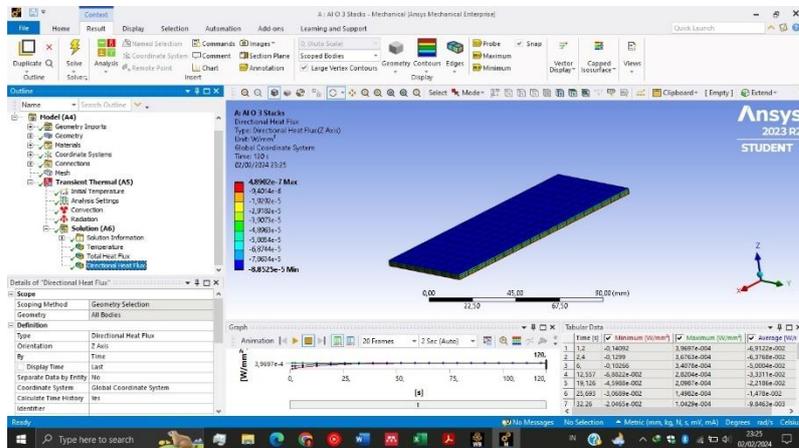
45,395	8,71E-03	36,499	1,63E-02	107,95	1,84E-03
51,962	5,81E-03	41,75	1,09E-02	129,83	1,21E-03
58,529	3,87E-03	47,001	7,25E-03	151,7	7,95E-04
65,096	2,58E-03	52,252	4,83E-03	173,57	5,21E-04
71,664	1,72E-03	57,503	3,22E-03	195,45	3,41E-04
78,231	1,15E-03	62,754	2,15E-03	217,32	2,23E-04
84,798	7,63E-04	68,005	1,43E-03	239,19	1,46E-04
91,365	5,09E-04	73,256	9,52E-04	261,06	9,57E-05
97,933	3,39E-04	78,507	6,35E-04	282,94	6,26E-05
104,5	2,26E-04	83,758	4,23E-04	304,81	4,10E-05
111,07	1,50E-04	89,009	2,82E-04	317,41	3,14E-05
117,63	1,00E-04	94,259	1,88E-04	330	2,41E-05
120	8,49E-05	100	1,21E-04		

Tabel B.4 Hasil *Heat Flux* pada Simulasi Pemanasan Pelat Empat Lapis

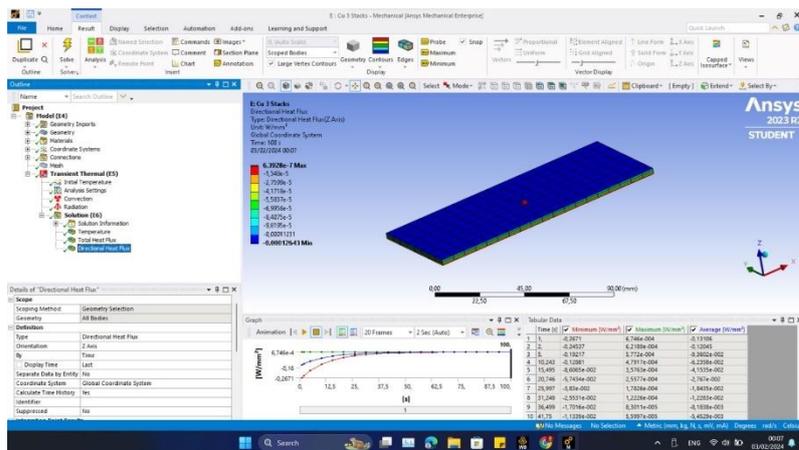
Al		Cu		Pb	
Waktu (detik)	<i>Heat Flux</i> (W/mm ²)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	<i>Heat Flux</i> (W/mm ²)
1,5	0,10368	1,2	0,19719	5,4	1,00E-02
3	0,10641	2,4	0,20236	7,2	1,04E-02
7,5	9,15E-02	6	0,17408	9	1,05E-02
16,337	6,37E-02	13,065	0,12112	14,4	1,02E-02
25,201	4,32E-02	20,152	8,22E-02	30,6	8,42E-03

34,063	2,91E-02	27,239	5,53E-02	46,8	6,76E-03
42,926	1,95E-02	34,326	3,70E-02	77,22	4,51E-03
51,789	1,30E-02	41,413	2,47E-02	106,85	2,99E-03
60,652	8,66E-03	48,5	1,65E-02	135,92	1,98E-03
69,515	5,77E-03	55,586	1,10E-02	164,98	1,31E-03
78,377	3,85E-03	62,673	7,32E-03	194,04	8,62E-04
87,24	2,56E-03	69,76	4,88E-03	223,11	5,67E-04
96,103	1,71E-03	76,847	3,25E-03	252,17	3,73E-04
104,97	1,14E-03	83,934	2,17E-03	281,24	2,45E-04
113,83	7,58E-04	91,02	1,44E-03	310,3	1,61E-04
122,69	5,05E-04	98,107	9,61E-04	339,37	1,06E-04
131,55	3,37E-04	105,19	6,40E-04	368,43	6,97E-05
140,42	2,24E-04	112,28	4,27E-04	397,5	4,58E-05
145,21	1,77E-04	116,14	3,35E-04	426,56	3,01E-05
150	1,39E-04	120	2,63E-04	455,63	1,98E-05
				484,69	1,30E-05
				513,76	8,56E-06
				540	5,82E-06

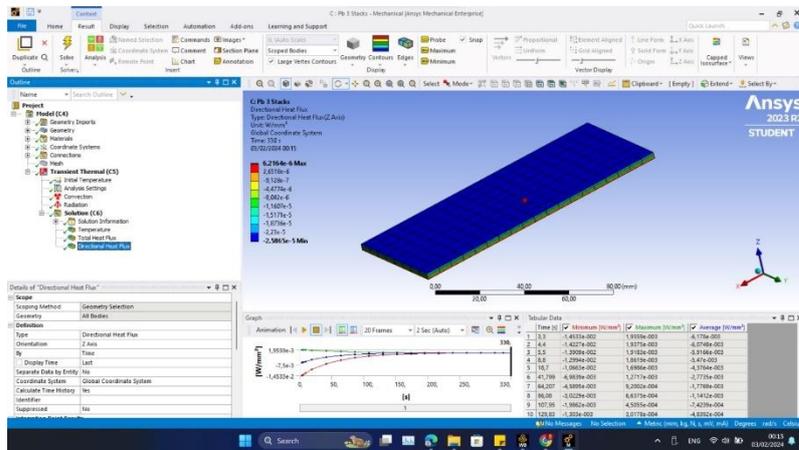
B.2 Gambar Simulasi Pencanaan dan Radiasi



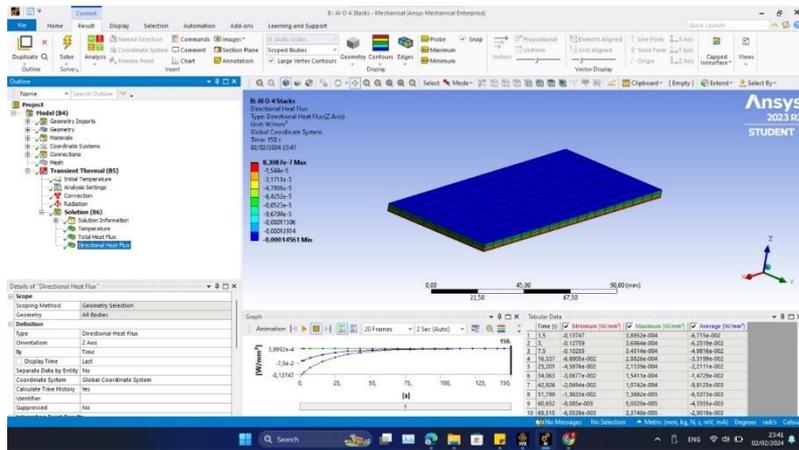
Gambar B.1 Hasil Simulasi Pemanasan Aluminium Tiga Lapis



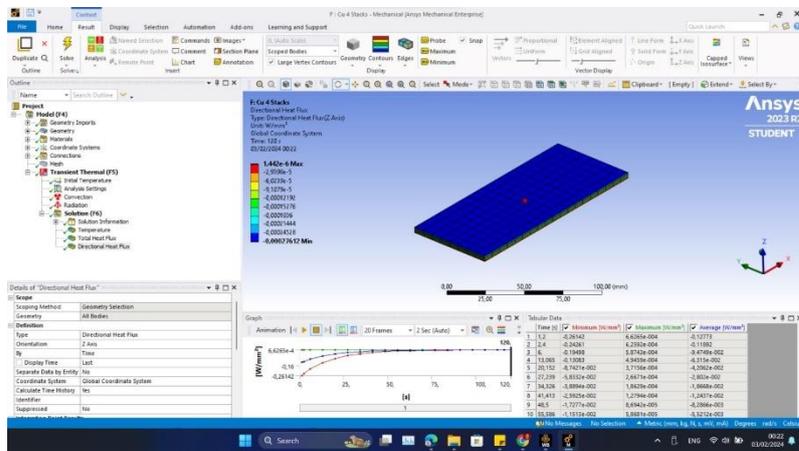
Gambar B.2 Hasil Simulasi Pemanasan Tembaga Tiga Lapis



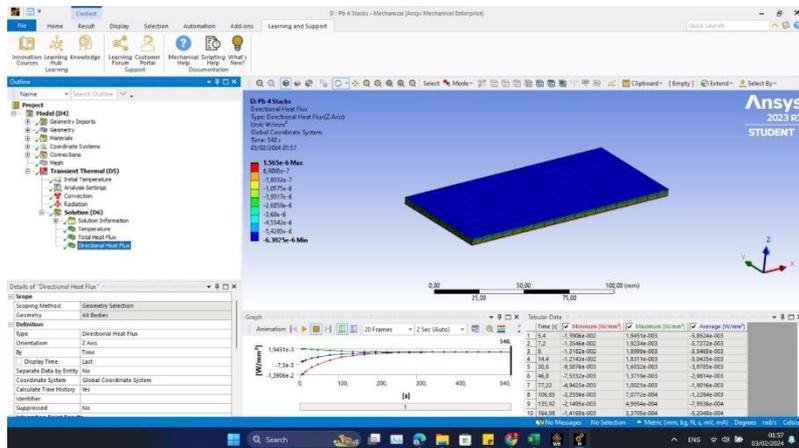
Gambar B.3 Hasil Simulasi Pemanasan Timbal Tiga Lapis



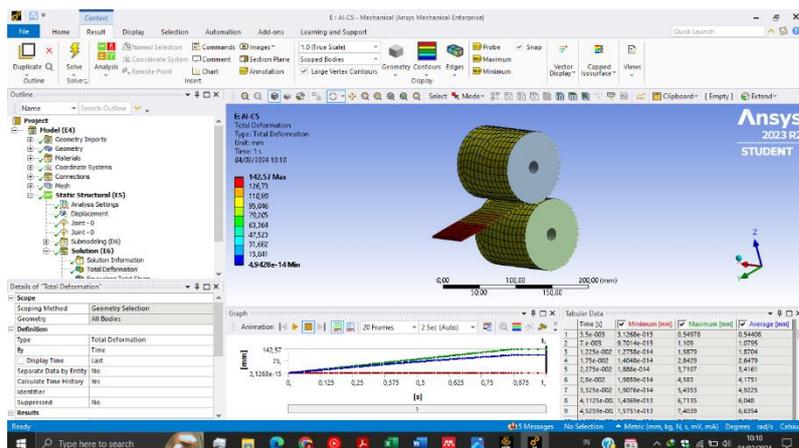
Gambar B.4 Hasil Simulasi Pemanasan Aluminium Empat Lapis



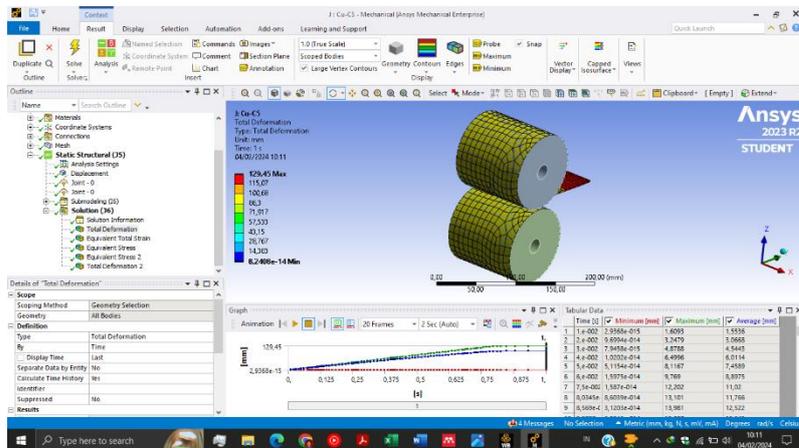
Gambar B.5 Hasil Simulasi Pemanasan Tembaga Empat Lapis



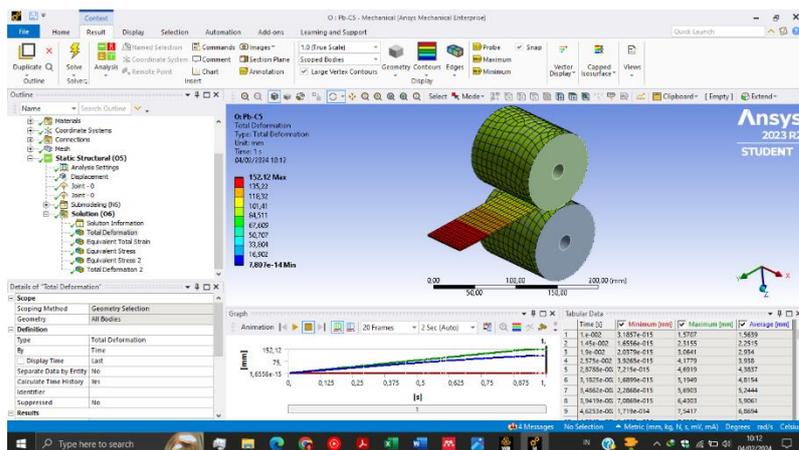
Gambar B.6 Hasil Simulasi Pemanasan Timbal Empat Lapis



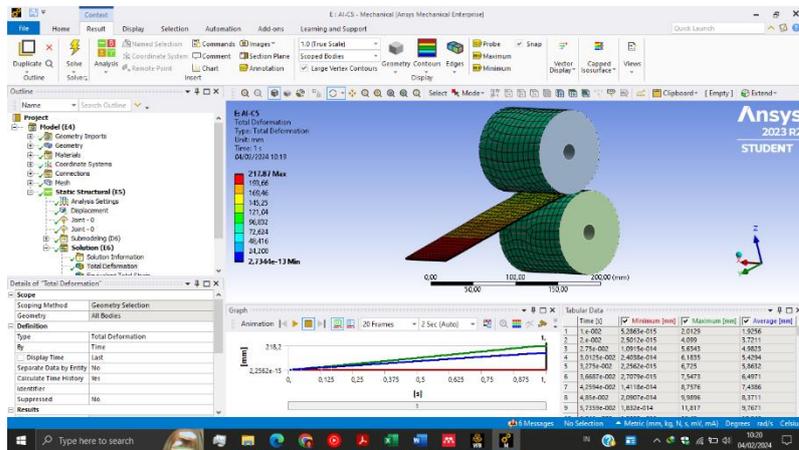
Gambar B.7 Hasil Simulasi Pencanaan Aluminium Tiga Lapis



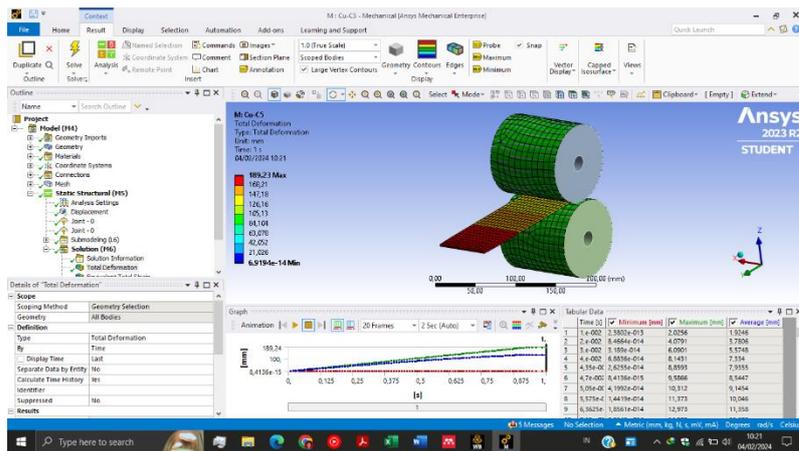
Gambar B.8 Hasil Simulasi Pencanaan Tembaga Tiga Lapis



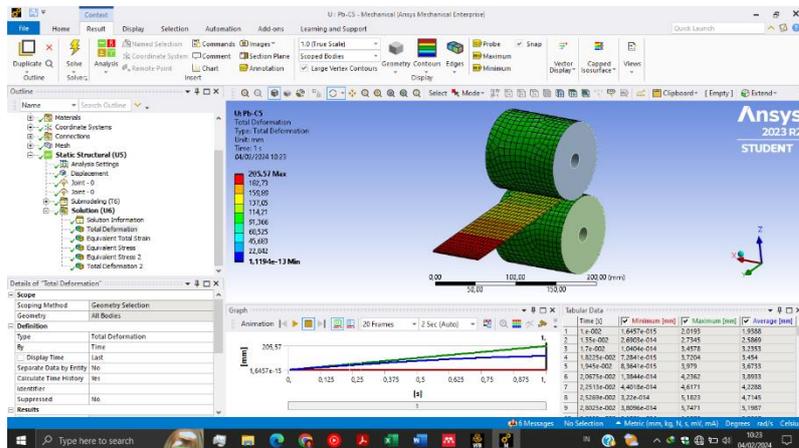
Gambar B.9 Hasil Simulasi Pencanaan Timbal Tiga Lapis



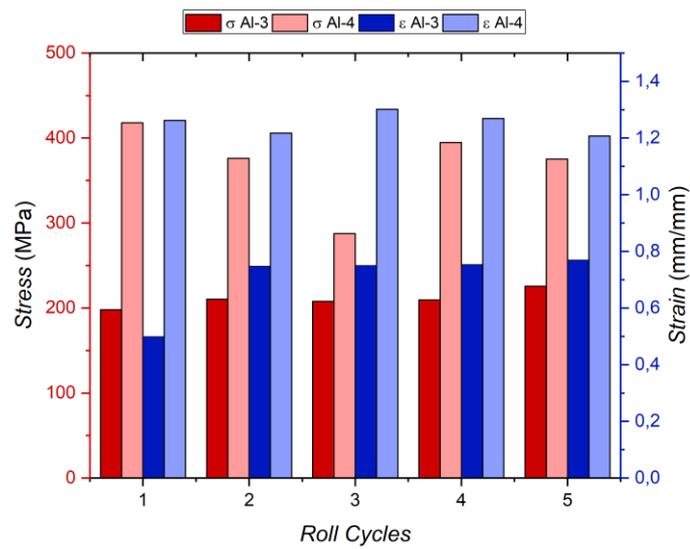
Gambar B.10 Hasil Simulasi Pencanaian Aluminium Empat Lapis



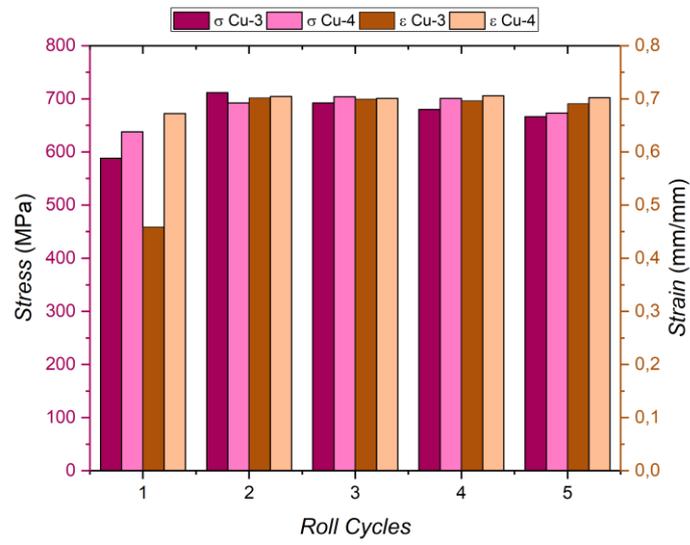
Gambar B.11 Hasil Simulasi Pencanaian Tembaga Empat Lapis



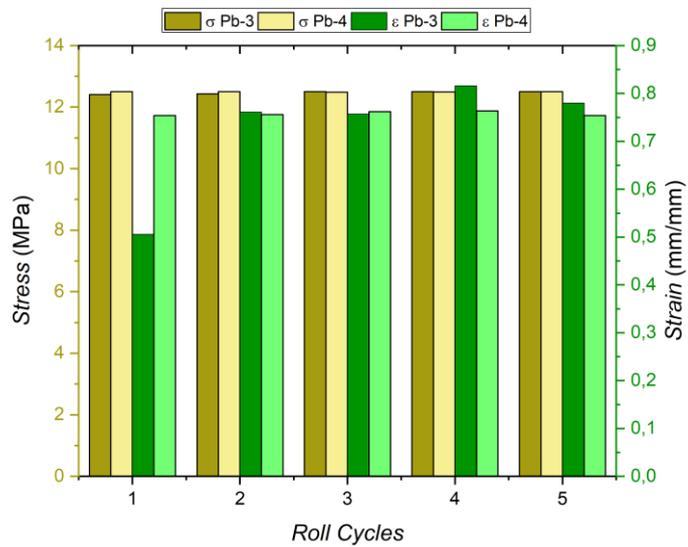
Gambar B.12 Hasil Simulasi Pencanaan Timbal Empat Lapis



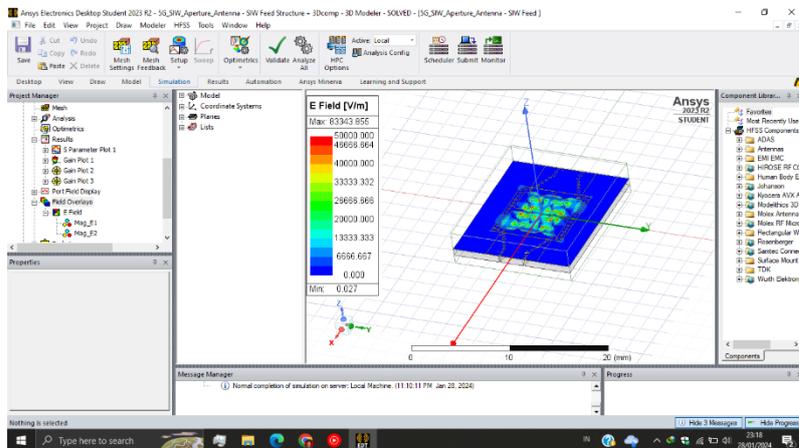
Gambar B.13 Grafik Hasil *Stress-Strain* Al Tiga Lapis dan Empat Lapis



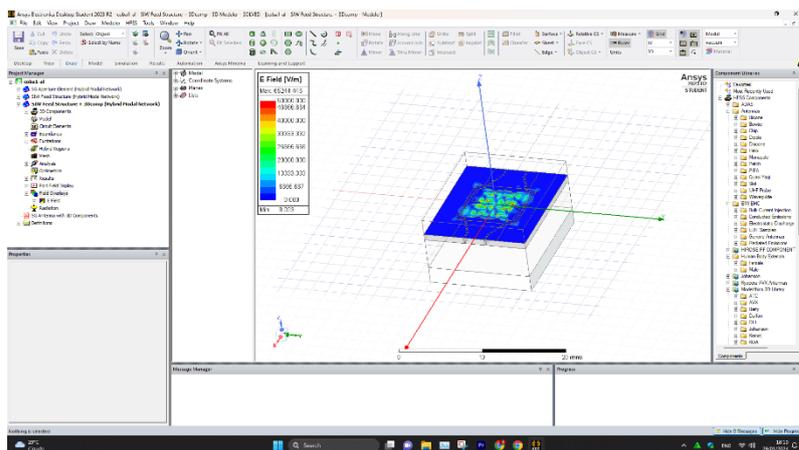
Gambar B.14 Grafik Hasil *Stress-Strain* Cu Tiga Lapis dan Empat Lapis



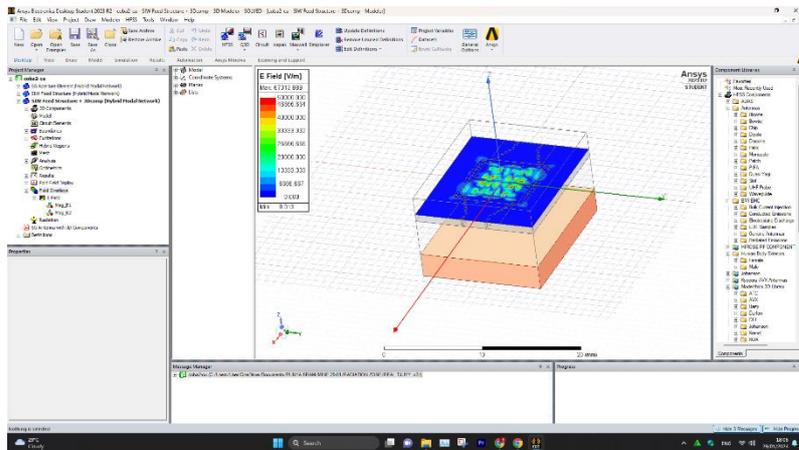
Gambar B.15 Grafik Hasil *Stress-Strain* Pb Tiga Lapis dan Empat Lapis



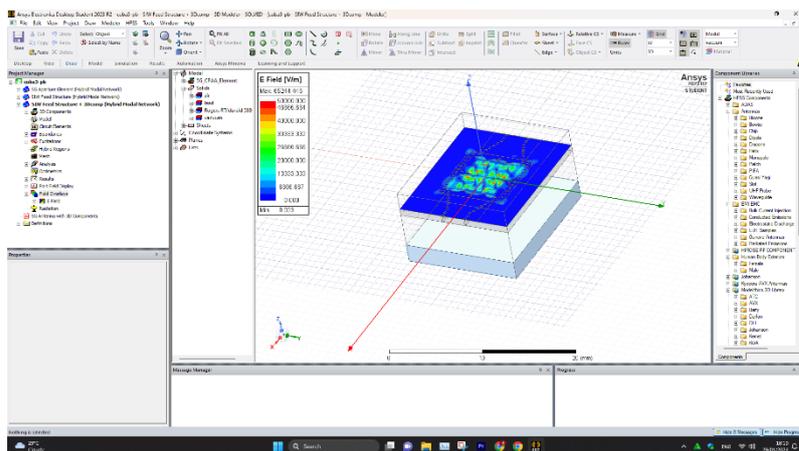
Gambar B.16 Hasil Simulasi Radiasi Antena



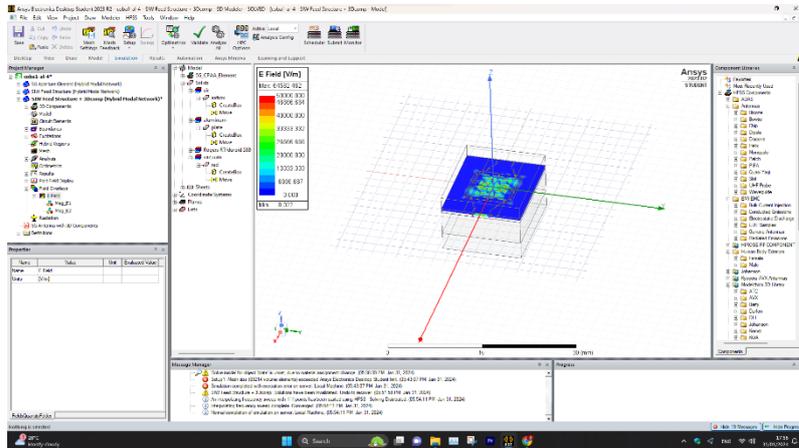
Gambar B.17 Hasil Simulasi Radiasi Aluminium Tiga Lapis



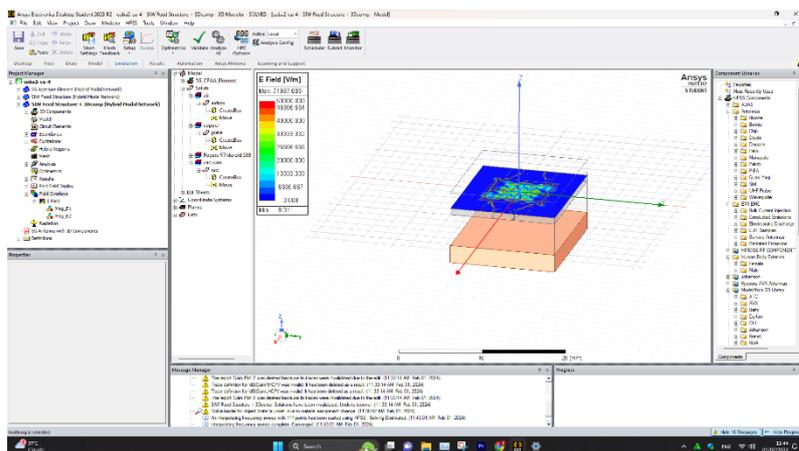
Gambar B.18 Hasil Simulasi Radiasi Tembaga Tiga Lapis



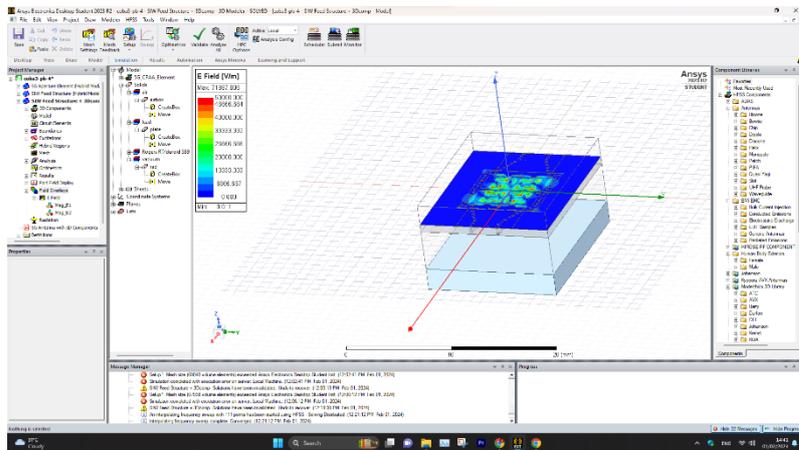
Gambar B.19 Hasil Simulasi Radiasi Timbal Tiga Lapis



Gambar B.20 Hasil Simulasi Radiasi Aluminium Empat Lapis



Gambar B.21 Hasil Simulasi Radiasi Tembaga Empat Lapis



Gambar B.22 Hasil Simulasi Radiasi Timbal Empat Lapis

LAMPIRAN C

GAMBAR ALAT DAN KOMPONEN

Lampiran C. Gambar Alat dan Komponen

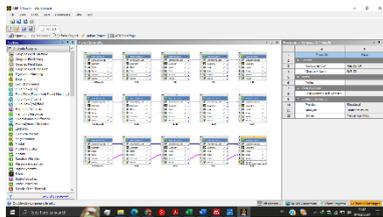
C.1 Gambar Alat yang Digunakan



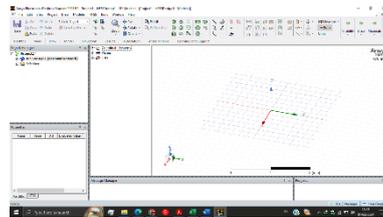
Gambar C.1 Jaringan Internet



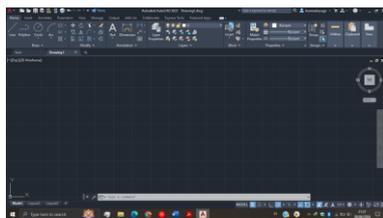
Gambar C.2 Komputer



Gambar C.3 ANSYS R2 2023

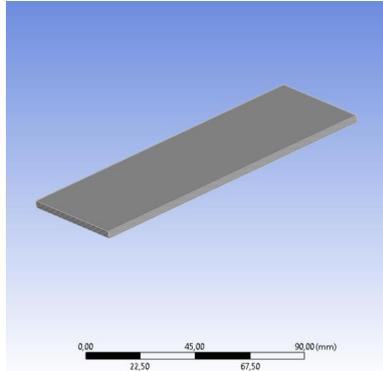


Gambar C.4 ANSYS HFSS

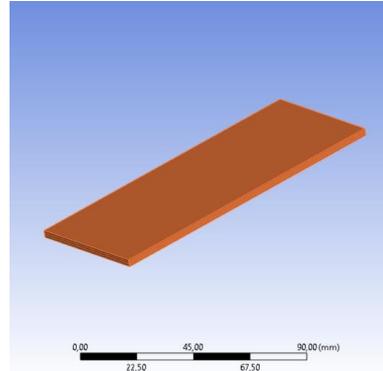


Gambar C.5 AutoCAD 2022

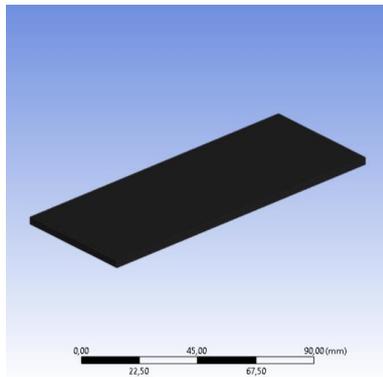
C.2 Gambar Komponen yang Digunakan



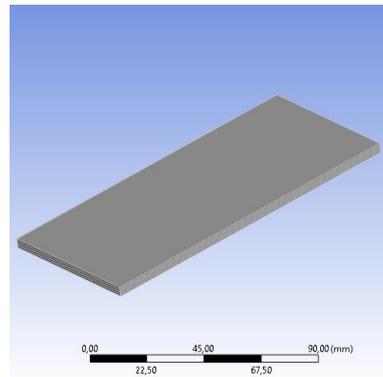
Gambar C.6 Pelat Al 3 Lapis



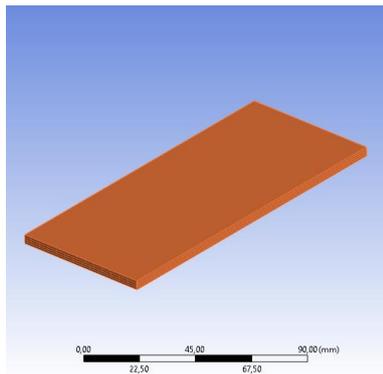
Gambar C.7 Pelat Cu 3 Lapis



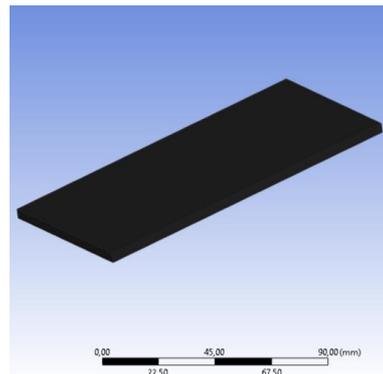
Gambar C.8 Pelat Pb 3 Lapis



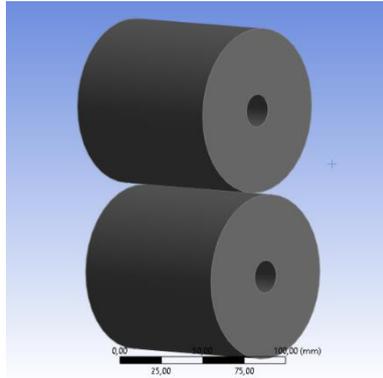
Gambar C.9 Pelat Al 4 Lapis



Gambar C.10 Pelat Cu 4 Lapis



Gambar C.11 Pelat Pb 4 Lapis



Gambar C.12 *Roller*