

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

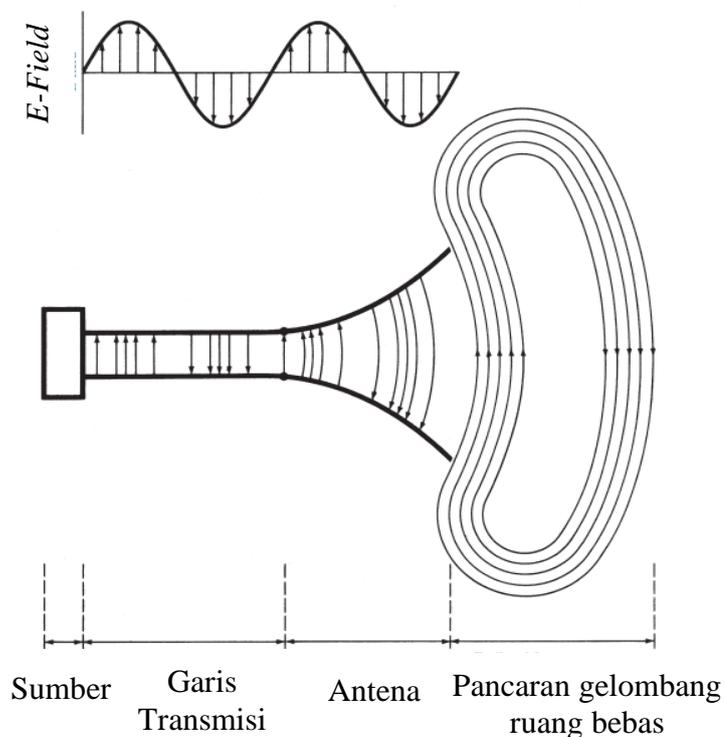
penggunaan ponsel berlebihan dapat menyebabkan ruam kulit dan sensasi terbakar. Pada efek lebih parahnya dari radiasi ponsel ini tidak ditemukannya penyebab dari kanker kulit. Bukti tentang efek radiasi ponsel pada penyakit kulit perlu ditekankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan evaluasi jangka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

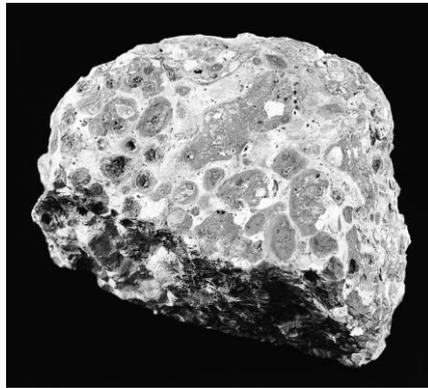
Aluminium adalah unsur ketiga yang paling melimpah di kerak bumi, dan merupakan unsur logam yang paling melimpah. Aluminium juga merupakan logam dengan densitas rendah ($2,6989 \text{ g/cm}^3$ pada 20°C), mudah dibentuk, dengan konduktivitas listrik dan termal yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi 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

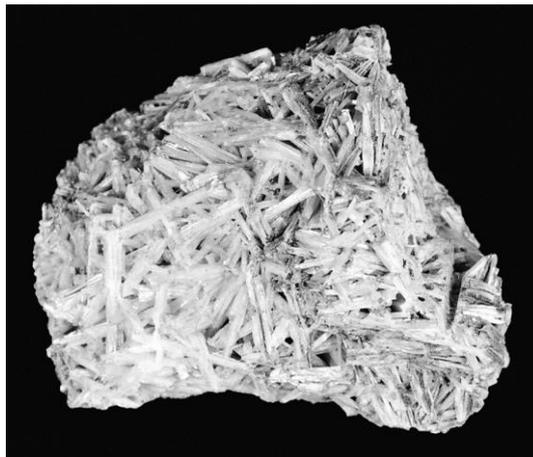
pada *smartphone* salah satunya berada pada Samsung Galaxy S6 dan Galaxy S6 Edge, di mana aluminium yang digunakan adalah aluminium *alcoa* 6013, setingkat dengan aluminium yang biasa digunakan untuk membuat pesawat. Aluminium *alcoa* 6013 memiliki sifat lebih kuat dari aluminium standar, memungkinkan 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.

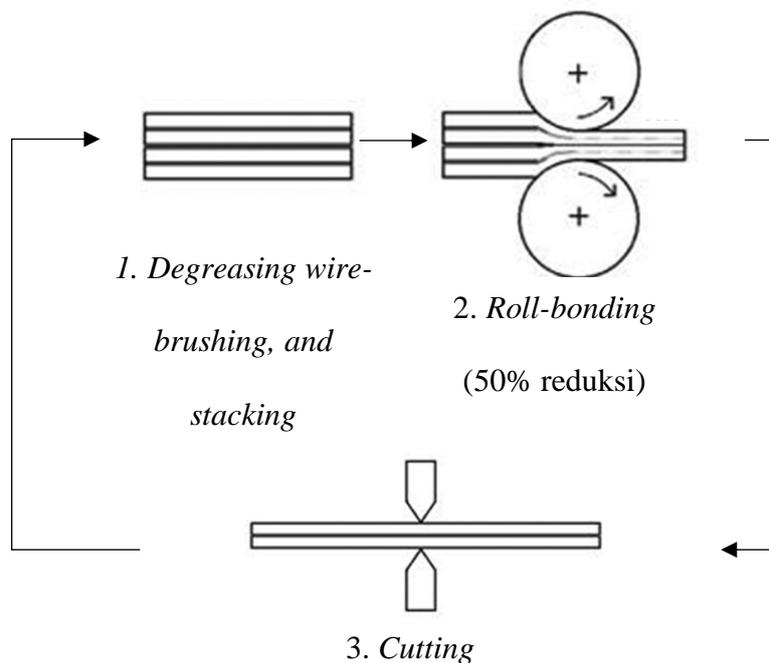
Tabel 2.7 *Material Properties* ETP C11000 [26]

<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].

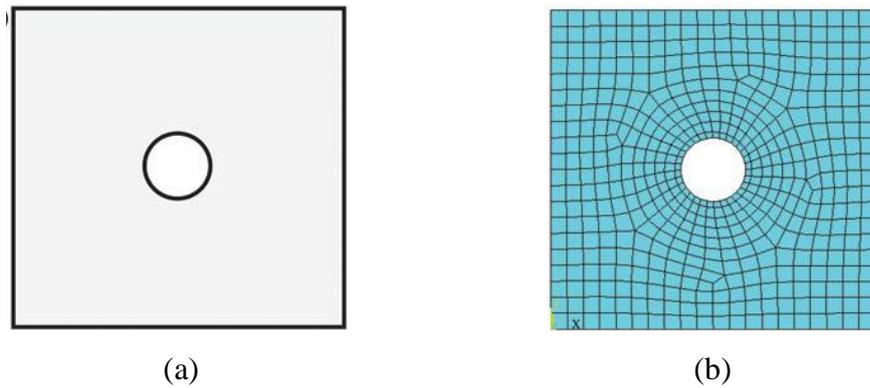
2.10 Finite Element Analysis (FEA)

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].

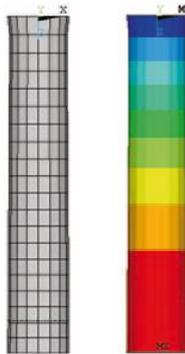
Stress dan *strain* menjadi salah satu parameter penting dalam proses simulasi statis. Perhitungan *strain* dapat dilakukan berdasarkan persamaan modulus elastisitas dengan rumus:

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

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-linearitas, maka harus memahami terlebih dahulu teori tentang bagaimana hal tersebut mempengaruhi respons struktur dengan melakukan analisis *seady-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].