

**STUDI PENDAHULUAN *RAPID THERMAL ANNEALING*
BERBASIS MATERIAL KOMPOSIT UNTUK APLIKASI
CASE PONSEL ANTIRADIASI MELALUI TEKNIK
*ACCUMULATIVE ROLL BONDING (ARB)***

SKRIPSI

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



Oleh:

**Moebi Syahirul Alim
3334180008**

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PENDAHULUAN *RAPID THERMAL ANNEALING*
BERBASIS MATERIAL KOMPOSIT UNTUK APLIKASI
CASE PONSEL ANTIRADIASI MELALUI TEKNIK
*ACCUMULATIVE ROLL BONDING (ARB)***

SKRIPSI

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

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Tech. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T.
NIP. 197608182008011012



Adhitva Trenggono, S.T., M.Sc.
NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERSETUJUAN

STUDI PENDAHULUAN *RAPID THERMAL ANNEALING*
BERBASIS MATERIAL KOMPOSIT UNTUK APLIKASI
CASE PONSEL ANTIRADIASI MELALUI TEKNIK
ACCUMULATIVE ROLL BONDING (ARB)

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Moebi Syahirul Alim

3334180008

Telah disidangkan di depan Dewan Penguji pada tanggal:

29 Juni 2022

Susunan Dewan Penguji

Penguji I (Ketua Sidang) : Dr.Tech.Ir.Agus Pramono, S.T.,M.T.

Penguji II : Adhitva Trenggono, S.T., M.Sc.

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

Tanda Tangan

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi

Adhitva Trenggono S.T., M.Sc.
NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Studi Pendahuluan *Rapid Thermal Annealing* Berbasis Material Komposit Untuk Aplikasi *Case Ponsel* Anti Radiasi Melalui Teknik *Accumulative Roll Bonding* (ARB)

Nama Mahasiswa : Moebi Syahirul Alim

NIM : 3334180008

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya hasil 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, saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 29 Juni 2022



Moebi Svahirul Alim

NIM. 3334180008

ABSTRAK

Paduan aluminium banyak digunakan pada pembuatan komposit matriks logam karena memiliki densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, serta memungkinkan banyaknya variasi penguat yang dapat digunakan pada komposit matriks aluminium. Aluminium sebagai logam ringan juga mempunyai sifat yang baik untuk menahan radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang ini banyak muncul saat penggunaan ponsel meningkat. Oleh karena itu perlu dieksplorasi bagaimana paduan aluminium dapat dimanfaatkan sebagai material yang dapat menahan radiasi gelombang elektromagnetik. Pada penelitian ini plat aluminium seri AA1070 digunakan sebagai base metal yang akan dipadukan dengan reinforced berupa alumina dalam bentuk nanofiber dan serbuk. Gabungan kedua material ini diharapkan menjadi komposit yang dapat diaplikasikan sebagai casing ponsel, yang mempunyai kemampuan untuk menahan radiasi dan juga mempunyai sifat mekanik yang baik untuk memberikan proteksi lebih kepada ponsel. Gabungan plat Al dan reinforced tersebut akan dilakukan proses penggabungan menggunakan metode Accumulative Roll Bonding (ARB). ARB merupakan metode umum yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik logam tanpa melibatkan proses pemanasan. Sebelum dilakukan rolling, plat Aluminium dan reinforced dilakukan preheating pada temperature 350 °C selama 60 menit. Saat proses rolling dengan 2 siklus, terjadi deformasi yang cukup besar pada material, sehingga untuk mengembalikan kekuatan material dilakukan annealing pada temperatur 350 °C selama 120 menit. Beberapa pengujian dilakukan untuk mengamati beberapa sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan komposit yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan nilai densitas tertinggi pada sampel Al no Reinforced yaitu sebesar 2,78, nilai Ultimate Tensile Strength tertinggi pada sampel Al+ANF yaitu sebesar 77 Mpa, nilai kekerasan tertinggi pada sampel Al+ANF yaitu sebesar 25,38, sampel komposit aluminium paduan Al+ANF dengan perlakuan panas paling efektif meredam radiasi dari 58,20 μ T hingga turun menjadi 0,22 μ T .

Kata Kunci: Komposit, Radiasi Elektromagnetik, AA1070, ARB, Annealing

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Studi Pendahuluan *Rapid Thermal Annealing* Berbasis Material Komposit Untuk Aplikasi *Case* Ponsel Anti Radiasi Melalui Teknik *Accumulative Roll Bonding (ARB)*” untuk memenuhi syarat menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Sahrudin dan Ibu Sabihah tercinta yang selalu memberikan do’a, semangat, kepercayaan dan kasih sayang.
2. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan serta Koordinator Skripsi Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Dr.Tech. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T. dan Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dan II Skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran dan motivasi.
4. Koordinator Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian dan menggunakan peralatan di laboratorium.
5. Ibu Anistasia Milandia, S.T., M.T., yang telah memberikan membantu penulis dalam menyusun skripsi.
6. Teman-teman angkatan Metalurgi 2018, PCH Empire, dan teman-teman Gengbengtut 2018 yang selalu memberi semangat dan nasihat agar tidak menyerah dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih terdapat kekurangan didalamnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik serta saran dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik.

Cilegon, 29 Juni 2022

Moebi Syahirul Alim

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Radiasi Elektromagnetik Dari Ponsel.....	7
2.2 Aluminium	12
2.3 Komposit Matriks Logam	14
2.4 <i>Severe Plastic Deformation</i>	16
2.5 <i>Accumulative Roll Bonding (ARB)</i>	17
2.6 Mekanisme Penguatan.....	24
2.7 <i>Preheating</i>	24

2.8 <i>Annealing and Rapid Thermal Annealing</i>	27
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.2.1 Alat yang Digunakan.....	32
3.2.2 Bahan yang Digunakan	33
3.3 Tahapan Penelitian	34
3.3.1 Preparasi Sampel.....	34
3.3.2 Proses ARB	36
3.3.3 <i>Rapid Thermal Annealing</i>	36
3.3.4 Karakterisasi Struktur Mikro.....	37
3.3.5 Uji Kekerasan.....	38
3.3.6 Uji Tarik.....	39
3.3.7 Uji Densitas.....	40
3.3.8 Uji Kemampuan Peredam Radiasi	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	43
4.2 Pembahasan.....	44
4.2.1 Karakterisasi Awal Pelat AA1070	44
4.2.2 Pengaruh Struktur Mikro.....	45
4.2.3 Hasil Pengamatan Densitas	50
4.2.4 Hasil Pengujian Tarik.....	51
4.2.5 Hasil Pengujian Kekerasan	54
4.2.6 Hasil Pengujian Radiasi	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	

LAMPIRAN

A. CONTOH PERHITUNGAN	64
B. DATA HASIL PENELITIAN.....	69
C. GAMBAR ALAT DAN BAHAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Daftar Seri Aluminium Paduan Tempaan.....	13
Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Kimia Aluminium	14
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Komposit Aluminium	23
Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian.....	43
Tabel 4.2 Komposisi Kimia AA1070	44
Tabel 4.3 Nilai Uji Tarik AA1070.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Pancaran Radiasi Dari BTS dan Ponsel Beserta Arahnya.....	8
Gambar 2.2 Spektrum Elektromagnetik.....	10
Gambar 2.3 Berkas Radiasi Elektromagnetik	10
Gambar 2.4 Aplikasi Aluminium Pada Ponsel	13
Gambar 2.5 Skema Proses <i>Severe Plastic Deformation</i> pada (a) <i>Equal Channel Angular Pressure</i> (b) <i>High Pressure Torsion</i> (c) <i>Accumulative Roll Bonding</i>	17
Gambar 2.6 Skema Proses ARB	18
Gambar 2.7 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Lebar Lapisan	20
Gambar 2.8 Ilustrasi Patahan dan Ekstrusi pada Permukaan Lapisan Selama Proses ARB	22
Gambar 2.9 Grafik Uji Tarik Komposit AA1070 (a) Tanpa Penguat (b) Penguat Al_2O_3 Nanofibers	24
Gambar 2.10 Gerak Dislokasi Bertemu Batas Butir	25
Gambar 2.11 Skema Proses <i>Twinning</i>	25
Gambar 2.12 Perubahan Bentuk Butiran Sebelum dan Sesudah Deformasi	26
Gambar 2.13 Diagram <i>Annealing</i>	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Pelat Yang Sudah Dipotong	34
Gambar 3.3 Proses <i>Preheating</i> pada <i>Muffle Furnace</i>	34
Gambar 3.4 (a) Sikat Kawat (b) <i>Aceton</i>	35
Gambar 3.5 Sampel yang Ditambah Al_2O_3 Nanofibers	35
Gambar 3.6 Sampel yang Telah Diikat di Setiap Sudut.....	35
Gambar 3.7 Mesin <i>Rolling</i>	36
Gambar 3.8 Proses <i>Rapid Thermal Annealing</i> Pada <i>Muffle Furnace</i>	37
Gambar 3.9 Mesin <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	38
Gambar 3.10 Mesin Uji Kekerasan	39

Gambar 3.11 Standar Sampel ASTM E8	39
Gambar 3.12 Mesin Uji Tarik	40
Gambar 3.13 Alat EMF Meter	41
Gambar 4.1 Hasil SEM Komposit AA1070 Setelah Proses ARB (a) Al no Reinforced H, (b) Al no Reinforced C, (c) Al ₂ O ₃ <i>nanofibers</i> H, (d) Al ₂ O ₃ <i>Nanofibers</i> C dan (e) Al Powder+ Al ₂ O ₃ <i>Nanofibers</i> C	46
Gambar 4.2 Ilustrasi Fenomena Delaminasi	48
Gambar 4.3 Diagram Nilai Densitas Komposit AA1070.....	50
Gambar 4.4 (a) Grafik Nilai Kuat Tarik Komposit AA107.....	52
Gambar 4.5 Diagram Nilai Kekerasan Komposit AA1070	55
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Radiasi Tanpa Material Peredam.....	56
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Radiasi Menggunakan Material Peredam	58
Gambar C.1 Jangka Sorong.....	75
Gambar C.2 Penggaris	75
Gambar C.3 Penjepit	75
Gambar C.4 Sikat Kawat.....	75
Gambar C.5 Gergaji Besi	75
Gambar C.6 Ragum.....	75
Gambar C.7 Gerinda Tangan	76
Gambar C.8 Sarung Tangan.....	76
Gambar C.9 <i>Muffle Furnace</i>	76
Gambar C.10 Mesin <i>Rolling</i>	76
Gambar C.11 Mesin Uji SEM.....	76
Gambar C.12 Mesin Uji Kekerasan	76
Gambar C.13 Mesin Uji Tarik	76
Gambar C.14 Mesin Bor	76
Gambar C.15 Kawat.....	77
Gambar C.16 <i>Aceton</i>	77
Gambar C.17 Aluminium.....	77
Gambar C.18 Amplas.....	77
Gambar C.19 Al ₂ O ₃ <i>Nanofibers</i>	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi menyebabkan maraknya inovasi dalam berbagai bidang kehidupan, salah satunya pada media komunikasi dan informasi. Jenis media komunikasi dan informasi yang mengalami pertumbuhan signifikan ialah telepon genggam atau ponsel (telepon seluler). Hal ini ditandai dengan masifnya kemunculan berbagai tipe ponsel yang menawarkan fitur-fitur canggih dalam selang waktu yang relatif singkat. Bukan tanpa alasan, fenomena ini terjadi guna memenuhi kebutuhan masyarakat untuk melakukan komunikasi secara efisien dan memperoleh informasi secara cepat.

Durasi penggunaan ponsel merupakan salah satu hal yang mengindikasikan kedekatan masyarakat dengan piranti serba bisa ini. Data App Annie menunjukkan, pada tahun 2019 penggunaan ponsel khususnya android di Indonesia mencapai empat jam per hari. Dengan Facebook, Facebook Messenger, dan WhatsApp sebagai aplikasi yang paling banyak diunduh. Namun, pada kuartal kedua tahun 2020, rata-rata penggunaan aplikasi ponsel naik sebesar 25% dibanding periode yang sama di tahun 2019. Hal ini terjadi karena adanya pandemi COVID 19 yang mengharuskan masyarakat Indonesia melakukan *physical distancing*, bahkan hingga diberlakukannya *work dan school from home* untuk menekan angka penyebaran virus mematikan ini. Meski menawarkan berbagai kemudahan, di sisi lain telepon seluler memiliki dampak buruk bagi kesehatan karena dapat

menimbulkan radiasi. Radiasi ialah perambatan energi dari sumbernya menuju lingkungan tanpa membutuhkan panas. Berdasarkan pengumuman dari WHO, radiasi ponsel ini dapat menyebabkan risiko kanker otak dan infertilitas. Disebutkan pula bahwa radiasi ponsel tergolong zat karsinogenik berbahaya layaknya asap knalpot dan kloroform (Manarisip, Rumampuk and Pangemanan, 2015). Karenanya, diperlukan upaya untuk mengurangi tingkat radiasi ponsel guna meminimalkan dampak buruk yang ditimbulkan.

Maka dari itu, dibuatlah *case* ponsel yang mampu meredam radiasi dari ponsel. Material case ponsel tersebut diharapkan mampu menyerap radiasi dari ponsel. Pada mulanya penelitian menggunakan material komposit kombinasi pelat Pb, Sn dan Ni dengan menggunakan metode *Accumulative Press Bonding* (APB), akan tetapi setelah dilakukan eksperimen mengalami kegagalan material dikarenakan pelat kombinasi Pb, Sn dan Ni tidak mengalami bonding. Untuk mengatasi kegagalan bonding material tersebut, kombinasi Pb, Sn, dan Ni diubah menggunakan paduan aluminium.

Paduan aluminium banyak digunakan pada pembuatan komposit matriks logam karena memiliki densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, serta memungkinkan banyaknya variasi penguat yang dapat digunakan pada matriks aluminium (Ibrahim, Mohamed and Lavernia, 1991). Selain itu aluminium dapat menjadi perisai (*shielding*) terhadap radiasi gelombang elektromagnetik, aluminium efektif menjadi perisai karena memiliki potensi *reflection loss* (sebagian besar energi yang dipantulkan oleh perisai dibandingkan penetrasi) dan *absorption loss* (energi didisipasikan dalam perisai) (Dharmawan, Kalanjati and

Abdurachman, 2020). Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan paduan aluminium AA1070 dan perekat Al_2O_3 *nanofibers* dengan menggunakan metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB) untuk membuat material *case* ponsel yang tahan terhadap radiasi elektromagnetik dan mempunyai sifat mekanik yang cukup baik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ali Chaidar (2021). Proses manufaktur aluminium dengan metode ARB mampu mengurangi radiasi elektromagnetik hingga $1,43 \mu\text{T}$ tetapi terdapat kelemahan pada material kombinasi yang dihasilkan yaitu pelat aluminium dan Pb tidak mengalami bonding secara sempurna. Untuk itu pada penelitian ini perlu ditambahkan *reinforced* berupa Al_2O_3 *nanofibers* untuk meningkatkan bonding sehingga sifat mekanik material yang dihasilkan dapat meningkat. Selain penambahan *reinforced* salah satu parameter yang berperan penting dalam manufaktur paduan Al menggunakan metode ARB adalah temperatur preheating dan temperatur rapid thermal annealing.

Accumulative Roll Bonding (ARB) adalah salah satu metode *Severe Plastic Deformation* (SPD). ARB diketahui dapat meningkatkan kekuatan secara signifikan dengan proses yang sederhana serta produktivitas yang tinggi sehingga dapat dikomersilkan (Ghalehbandi, Malaki and Gupta, 2019). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pramono (2016), komposit matriks aluminium penguat Al_2O_3 *nanofibers* setelah siklus kedua mengalami peningkatan kekuatan tarik sebesar 114 MPa sedangkan komposit tanpa penguat memiliki nilai sebesar 148 MPa. Peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan selama proses ARB minimal setelah satu siklus. Peningkatan sifat mekanik terjadi secara bertahap sesuai dengan peningkatan jumlah siklus (Venkateswarlu *et al.*, 2019).

Peningkatan kekuatan paduan aluminium menggunakan metode ARB dapat terjadi pada temperatur *annealing* 250°C – 500°C selama 5 – 20 menit. Hal ini terjadi karena ikatan antarmuka terbentuk secara sempurna sehingga material yang dihasilkan memiliki kekuatan yang tinggi dan tidak ada retak.

Menurut penelitian yang telah dilakukan penambahan penguat Al₂O₃ *nanofibers* dan penggunaan temperatur *annealing* dapat mempengaruhi sifat mekanik serta struktur mikro material hasil proses ARB. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit matriks aluminium agar dapat diaplikasikan sebagai material antiradiasi pada *case* ponsel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang ditinjau dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tanpa penambahan *reinforcement*, penambahan Al₂O₃ *nanofibers*, penambahan Al Powder ditambah Al₂O₃ *nanofiber* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik komposit matriks aluminium metode ARB?
2. Bagaimana pengaruh *pre-heating* dan perlakuan *rapid thermal annealing* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik komposit matriks aluminium metode ARB?
3. Seberapa efektif material antiradiasi yang diproses dengan metode ARB dari komposit matriks aluminium meredam radiasi ponsel dan melindunginya secara fisik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum pada penelitian ini adalah mendapatkan material yang dapat menahan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ponsel dengan sifat mekanik yang tinggi, sedangkan tujuan khususnya adalah :

1. Menganalisa pengaruh penambahan *reinforced*, temperatur *pre heating* dan perlakuan *rapid thermal annealing* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik komposit matriks aluminium.
2. Menentukan efektifitas daya tahan radiasi material hasil ARB terhadap nilai intensitas radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh ponsel.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Bahan yang digunakan adalah aluminium seri AA1070.
2. Penguat yang digunakan untuk komposit yaitu Al_2O_3 *nanofiber* dan Al Powder + Al_2O_3 *nanofiber*.
3. Metode yang digunakan, yaitu *Accumulative Roll Bonding* (ARB).
4. Temperature *preheating* proses ARB yang digunakan 350°C selama 60 menit.
5. Temperature *rapid thermal annealing* setelah proses ARB yang digunakan 350°C ditahan 120 menit.
6. Kekerasan permukaan sampel diuji dengan *Micro Vickers Hardness Tester*.

7. Kekuatan tarik sampel diuji dengan pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8.
8. Mikrostruktur diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).
9. Pengujian radiasi menggunakan *Electromagnetic Filed Meter* (EMF)

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab. Bab I menjelaskan mengenai latar belakang dilakukan penelitian pengaruh penguat Al_2O_3 *nanofiber*, tanpa penguat dan penguat Al powder ditambah Al_2O_3 *nanofiber* terhadap material komposit Aluminium, identifikasi masalah, tujuan dilakukan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian. Bab II menjelaskan mengenai komposit matriks logam dan *severe plastic deformation* (SPD). Bab III menjelaskan mengenai metode penelitian penambahan penguat Al_2O_3 *nanofiber* dan tanpa penguat, penguat Al powder ditambah Al_2O_3 *nanofiber* pada material komposit aluminium yang berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur dalam penelitian dimulai dari preparasi bahan, preparasi sampel 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 referensi yang digunakan dan lampiran data hasil penelitian yang telah dilakukan.

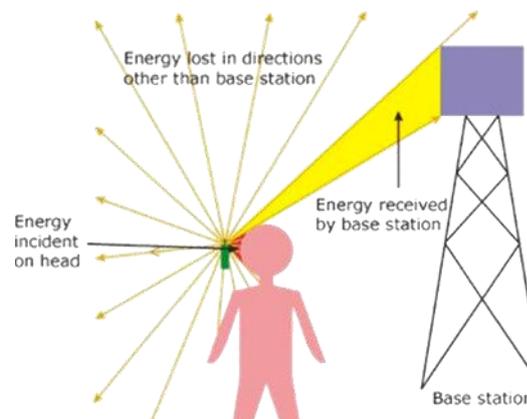
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Elektromagnetik Dari Ponsel

Ponsel mentransmisikan dan menerima sinyal dari dan ke sub stasiun yang ditempatkan di tengah kota. Sub stasiun yang menerima sinyal paling jernih dari ponsel memberikan pesan ke jaringan telepon lokal jarak jauh. Jaringan *Personal Communication Services* (PCS) mirip dengan sistem ponsel. PCS menyediakan komunikasi suara dan data didesain untuk menjangkau daerah yang luas. Pita frekuensi 800 sampai dengan 3000 MHz telah dijatahkan untuk peralatan komunikasi ini. Karena ponsel atau unit PCS harus berhubungan dengan substasiun yang diletakkan beberapa kilometer jauhnya, pancaran dari peralatan ini harus cukup kuat untuk memastikan sinyalnya bagus. Peralatan ini memancarkan daya sekitar 0,1 sampai dengan 1,0 W. Tingkat daya dari antena ini aman untuk kesehatan kepala. Kerapatan daya puncak dari antena pada telepon seluler ini mendekati $4,8 \text{ W/m}^2$ atau $0,48 \text{ mW/cm}^2$ atau setara dengan 480 mikrotelsla (Fischetti, 1993). Ponsel merupakan sumber radiasi elektromagnetik yang sangat potensial. Ponsel menghasilkan energy foton yang sangat besar dan potensi radiasinya lebih besar dibandingkan peralatan elektronik maupun jaringan listrik tegangan tinggi dan ekstra tinggi. Medan elektromagnetik ini dapat menyebabkan pemanasan pada jaringan tubuh. Jenis radiasi yang berbeda-beda dapat mengantarkan energi persatuan massa yang sama ke tubuh manusia, namun radiasi-radiasi yang berbeda itu tidak mempunyai efek biologis yang sama. Pada ponsel yang terdapat transmitter yang mengubah suara menjadi medan sinusoidal kontinu yang

kemudian dipancarkan keluar melalui antenna dan medan ini berfluktuasi melalui udara. Medan RF (*Radio Frequency*) inilah yang menimbulkan radiasi elektromagnetik. Berikut ini pancaran radiasi dari *Base Transceiver Station* (BTS) dan ponsel beserta arahnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



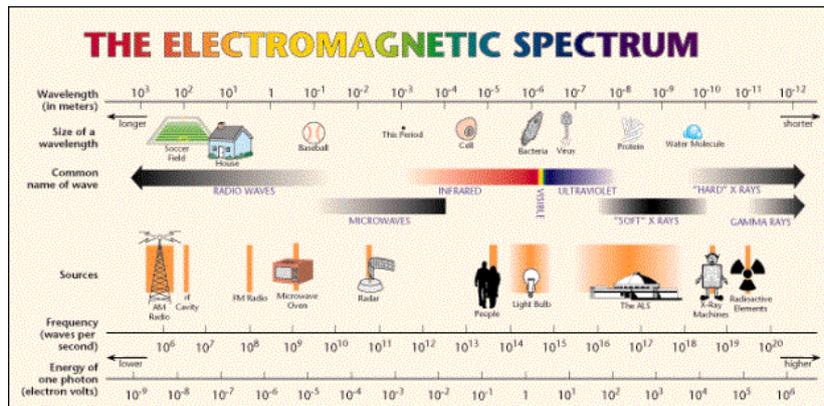
Gambar 2.1 Pancaran Radiasi Dari BTS dan Ponsel Beserta Arahnya

Radiasi memiliki arti pemancaran atau penyinaran. Radiasi merupakan penyebaran partikel-partikel elementer dan energi radiasi dari suatu sumber radiasi ke medium atau tujuan sekitarnya. Intensitas radiasi yang dipancarkan oleh ponsel adalah suatu bentuk gelombang elektromagnetik dimana sifatnya dapat menembus ruang hampa udara. Radiasi dari ponsel secara kumulatif dapat menimbulkan berbagai macam penyakit, diantaranya adalah kanker otak, tumor otak, alzheimer, fatigue dan yang paling ringan adalah dapat menyebabkan sakit kepala (Hardell dan Salford et.al., 2006). Eka Putra Setiawan (1996) dari Divisi Otologi Rumah Sakit Sanglah menjelaskan bahwa radiasi ponsel memancarkan 215 kali perdetik masuk ke sel-sel otak mengenai DNA (Deoxyribonucleic Acid) dalam sel. Tiap ponsel memancarkan 900 MHz sampai

1.800 MHz, yang dapat menjadi pemicu dalam meningkatkan resiko kanker dan mempengaruhi kesuburan (University of Athens dan Australian Research, 2009). Untuk itu anak-anak usia dibawah delapan tahun sangat rentang terhadap pancaran radiasi ini sehingga sangat disarankan belum waktunya menggunakan ponsel.

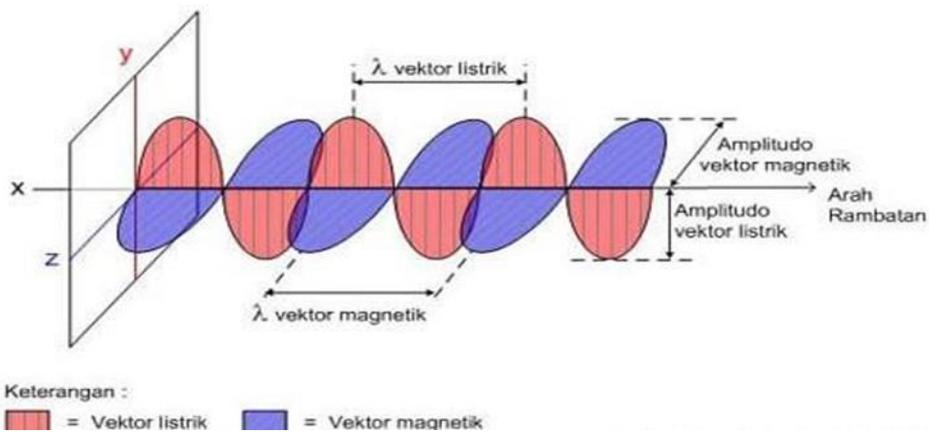
Radiasi pada dasarnya adalah suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium. Gelombang radio, sinyal televisi, sinar radar, cahaya tak terlihat, sinar-x dan sinar gamma merupakan contoh-contoh gelombang elektromagnetik. Tingkat paparan gelombang elektromagnetik dari berbagai frekuensi berubah secara signifikan sejalan dengan perkembangan teknologi yang menimbulkan kekhawatiran bahwa paparan dari gelombang elektromagnetik ini dapat berpengaruh buruk terhadap kesehatan fisik manusia (Swamardika, 2009). Radiasi termal didefinisikan sebagai energi yang ditransfer oleh gelombang elektromagnetik yang berasal dari suatu benda karena suhunya. tingkat di mana energi dipancarkan tergantung pada zat itu sendiri, kondisi permukaannya, dan suhu permukaannya (G.H. Geiger, 1973).

Susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya disebut spektrum elektromagnetik. Gambar spektrum elektromagnetik disusun berdasarkan panjang gelombang (diukur dalam satuan m (Enny, 2013)). Untuk lebih detailnya bisa dilihat pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Spektrum Elektromagnetik

Perambatan gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Berkas Radiasi Elektromagnetik

Kecepatan rambat gelombang elektromagnetik bergantung pada dua besaran, yaitu permitivitas listrik (ϵ_0) dan permeabilitas magnet (μ_0). Dari hasil perhitungan secara matematis, Maxwell menemukan kecepatan rambat gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa I memenuhi persamaan berikut :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

C = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

ϵ_0 = Permittivitas listrik ($8,85 \cdot 10^{-12}$ C²/Nm²)

μ_0 = Permeabilitas magnet ($1,26 \cdot 10^{-6}$ H/m) (Jhon Wiley dan Sons, 1984).

Karena sumber radiasi berupa sebuah titik bersifat isotropis dimana sumber titik itu memancarkan gelombang secara seragam ke semua arah, energi pada jarak r dari sumber akan terdistribusi secara merata pada kulit bola berjari- jari r dan luas $4 \pi r^2$ (Paul A. Tipler, 1998).

Apabila radiasi elektromagnetik masuk ke dalam bahan perisai, maka sebagian dari radiasi tersebut akan terserap oleh bahan. Sebagai akibatnya, intensitas radiasi setelah memasuki bahan penyerap lebih kecil dibandingkan intensitas semula. Proses pelemahan radiasi elektromagnetik dari suatu bahan perisai bersifat eksponensial mengikuti persamaan berikut:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

I = Intensitas radiasi elektromagnetik setelah melalui perisai radiasi
(W/m²)

I_0 = Intensitas radiasi elektromagnetik sebelum melalui perisai radiasi (W/m²)

μ = Koefisien serapan linier bahan perisai

x = Tebal bahan perisai (m).

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam kedua yang berlimpah di bumi memiliki massa jenis ringan, ketahanan korosi yang baik serta daya hantar listrik yang baik. Aluminium memiliki massa jenis sebesar $2,7 \text{ g/cm}^3$, sekitar sepertiga dari baja ($7,83 \text{ g/cm}^3$), tembaga ($8,93 \text{ g/cm}^3$), atau kuningan ($8,53 \text{ g/cm}^3$) (ASM,1990). Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh akibat terjadinya fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara. Lapisan oksida ini melekat kuat pada permukaan dan tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya sehingga dapat mencegah terjadinya oksidasi pada bagian dalam aluminium. Sifat dan kegunaan pada aluminium dapat meningkat dengan menambahkan unsur lain ke aluminium murni. Sebagian besar aplikasi untuk aluminium menggunakan paduan dari penambahan satu unsur atau lebih. Penambahan unsur pada aluminium paduan yang digunakan seperti tembaga, mangan, silikon, magnesium, seng, dan sebagainya (ASM, 1990).

Umumnya aluminium dapat dilebur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Aluminium paduan terbagi menjadi dua kelompok, yaitu paduan tempa dan paduan cor. Adapun sistem penamaan dan komposisi pada aluminium paduan sesuai dengan standar *American National Standards Institute* (ANSI) H35.1. Berdasarkan standar ANSI H35.1, *Aluminium Association* mendaftarkan dan menerbitkan spesifikasi yang meliputi penamaan dan komposisi aluminium (ASM, 1990). Dengan demikian, aluminium paduan dapat diidentifikasi dengan singkatan AA. Berikut ini daftar aluminium paduan tempa dan cor dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar Seri Aluminium Paduan Tempaan (ASM, 1990)

Komposisi Paduan	Tempa	Aplikasi
Aluminium murni	1xxx	Peralatan pemrosesan kimia, konduktor listrik
Paduan aluminium dikelompokkan berdasarkan unsur paduan utama:		
Tembaga	2xxx	<i>Automotive parts, struktural aircraft</i>
Mangan	3xxx	Tangki bahan bakar, elektronik
Silikon	4xxx	Batang las, <i>brazing sheet</i>
Magnesium	5xxx	Peralatan kesehatan, alat <i>marine environments</i>
Magnesium dan Silikon	6xxx	Ekstrusi arsitektur, komponen <i>automotive</i>
Seng	7xxx	Struktur <i>aircraft</i>
Unsur lain	8xxx	Komponen helikopter
<i>Unused series</i>	9xxx	-

Terdapat aplikasi aluminium pada ponsel yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Aplikasi Aluminium Pada Ponsel

Jenis aluminium yang digunakan sebagai material pada penelitian ini adalah aluminium seri 1070. Aluminium tersebut termasuk dalam seri 1xxx dimana aluminium murni dengan sifat mekanis rendah dibandingkan dengan aluminium seri lainnya.

Aluminium seri 1070 telah mengalami proses anil sehingga material ini bersifat ulet. Maka dari itu untuk meningkatkan sifat mekanis aluminium seri 1070 melalui proses pembentukan logam dengan mekanisme pengerasan regangan (*strain hardening*) dan penghalusan butir (*ultrafine grained*). Berikut merupakan sifat fisik dan kimia dari aluminium yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Kimia Aluminium

Aluminium	
Nomor Atom	13
Massa Atom	26
Golongan	3A
Titik lebur	660°C
Titik Didih	2519°C
Kepadatan/Massajenis	2,7 g/cm ³
Struktur Kristal	FCC - 143 pm
Modulus Young	70 Gpa
Kekerasan	26 HVN
Kekerasan Skala Mohs	2,75

2.3 Komposit Matriks Logam

Komposit merupakan suatu gabungan material yang terdiri dari dua atau lebih yang memiliki fasa berbeda membentuk material baru, dengan tujuan untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik tertentu. Komposit dapat Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), *interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (permukaan *phase* yang berbatasan dengan

phase lain) (Pramono, 2008). Proses penggabungan dua ataupun lebih material yang mempunyai sifat berbeda dapat menimbulkan terbentuknya ikatan antarmuka (*interfacial bonding*), dimana *interfacial bonding* salah satu ketentuan keberhasilan dari fabrikasi komposit.

Komposit matriks logam merupakan suatu komposit dengan material penyusun berupa logam yang terdiri dari dua atau lebih logam yang digabungkan dalam satu struktural (Gibson, 2016). Pembuatan komposit matriks berbasis logam dengan densitas rendah secara bertahap telah banyak dikembangkan. Pada proses fabrikasi, matriks yang paling banyak digunakan, yaitu logam aluminium karena logam ini memiliki densitas yang rendah, tahan terhadap korosi, sifat panas dan listrik yang baik. Adapun aplikasi komposit matriks logam, antara lain pesawat ulang-alik untuk membingkai badan pesawat, komponen militer seperti rudal dan komponen otomotif pada mesin transportasi (Kaw, 2006).

Karakteristik komposit dapat ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun menurut *rule of mixture*. *Rule of mixture* dapat memprediksi sifat mekanik material komposit. Rumus *rule of mixture* diturunkan dari model satu dimensi, yaitu modulus elastisitas (ASM, 2001):

$$E_c = V_f E_f + V_m E_m \dots\dots\dots (2.3)$$

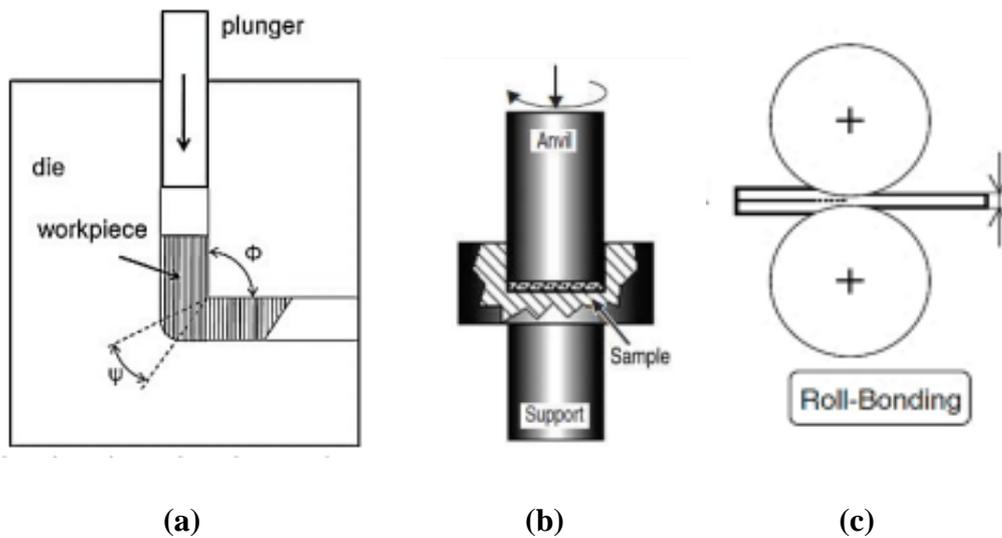
Dimana V_f adalah fraksi volume *fiber*, V_m adalah fraksi volume matriks ($V_m = 1 - V_f$), serta E_f dan E_m adalah modulus elastisitas *fiber* dan matriks.

2.4 *Severe Plastic Deformation*

Severe Plastic Deformation (SPD) merupakan salah satu metode logam dan

paduan untuk memperoleh struktur butir yang sangat halus. Metode ini digunakan untuk mengubah logam dan paduan butir kasar menjadi material *ultrafined grain* (UFG) sehingga diperoleh sifat mekanik dan fisik yang lebih baik. Metode SPD sangat efisien digunakan sebagai proses manufaktur untuk menghasilkan struktur butir material UFG dan berukuran nano (Sanusi *et al*, 2017). Ukuran butir yang dihasilkan oleh metode SPD untuk material UFG sekitar kurang dari 500nm (Veena, 2017). Untuk mendapatkan struktur UFG, diperlukan regangan tinggi agar menghasilkan kepadatan dislokasi yang tinggi sehingga ini dapat menyebabkan penataan ulang pada penyusunan batas butir. Metode SPD dapat dijelaskan dengan teknik pembentukan logam di mana tingkat regangan bekerja pada sampel dimensi material mengarah pada pembentukan bahan UFG.

Keuntungan menggunakan SPD, yaitu menghasilkan butiran halus pada temperatur rendah, produk akhir yang diperoleh menunjukkan butiran batas bersudut tinggi dengan karakteristik mekanis yang ditingkatkan, serta menghasilkan komponen dengan kepadatan tinggi (Agarwal *et al*, 2019). Oleh karena itu material yang diterapkan dengan metode SPD dapat digunakan di berbagai aplikasi *automobile*, *aerospace*, dan pertahanan. Metode SPD dapat diterapkan pada material komposit. Metode SPD terdiri dari beberapa jenis proses, proses yang paling terkenal terdapat tiga jenis yaitu: *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP), *High Pressure Torsion* (HPT), dan *Accumulative Roll Bonding* (ARB).

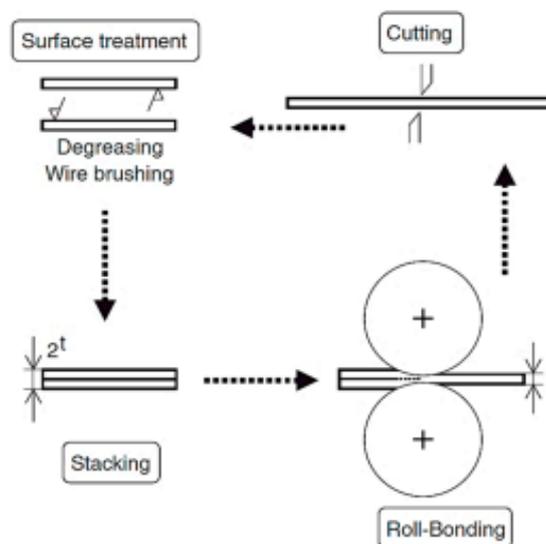


Gambar 2.5 Skema Proses *Severe Plastic Deformation* pada
 (a) *Equal Channel Angular Pressure* (b) *High Pressure Torsion*
 (c) *Accumulative Roll Bonding* (Agarwal *et al*, 2019)

2.5 *Accumulative Roll Bonding (ARB)*

Accumulative roll bonding (ARB) dikembangkan oleh Saito dan Tsuji dengan rekan dan siswa mereka pada tahun 1997-1998. Tujuan utama dikembangkannya proses ini untuk menghasilkan proses SPD baru sehingga dapat memproduksi material logam secara massal berkelanjutan dan berstruktur nano. Butir-butir yang terbentuk biasanya berskala nano disebut sebagai *ultrafined grain (UFG)*. Tahapan proses ARB diantaranya pemotongan sesuai ukuran kapasitas mesin *roll*, susun, dan *rolling*. Sebelum dilakukan *rolling*, permukaan kedua lembaran logam disikat dengan *wire brush* dan dibersihkan dengan cairan aseton bertujuan untuk meningkatkan kualitas ikatan. Kemudian kedua lembaran logam digabungkan dengan *roll* konvensional direduksi sebesar 50%. Setelah dilakukan *rolling*, lembaran logam memiliki setengah ketebalan awal dan panjang menjadi dua kali lipat. Setelah lembaran dilakukan *rolling* kemudian dipotong menjadi dua bagian dan ditumpuk untuk mendapatkan dimensi awal sebelum dilakukan *rolling*

50% pertama. Lembar yang ditumpuk kemudian dapat dilakukan *rolling* kembali dengan reduksi sebesar 50%. Pada prinsipnya, prosedur ini dapat diulang tanpa batas. Perubahan mikrostruktur juga akan diteliti dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui distribusi presipitat dan hasil pengamatan scanning electron microscope (SEM) untuk mengetahui morfologi butir yang mencapai butir halus (UFG), (Pramono, 2018). Gambar 2.6 menunjukkan skema proses ARB sebagai berikut.



Gambar 2.6 Skema Proses ARB (Ghalehbandi, 2019)

ARB tidak hanya terjadi proses deformasi tetapi terdapat juga proses ikatan (Saito, 1998). Selama siklus ARB, adanya perubahan signifikan pada sifat mekanik material. Proses ARB menghasilkan material dengan butir yang lebih kecil akibatnya dicapai peningkatan yang signifikan pada *ultimate tensile strength* serta ketangguhan lebih tinggi dan baik (Najafzadeh, 2016). Untuk meningkatkan kualitas ikatan, ARB dapat dilakukan pada temperatur tinggi atau di bawah temperatur rekristalisasi. Perlakuan annealing juga dapat dipertimbangkan setelah ARB untuk mencapai ikatan

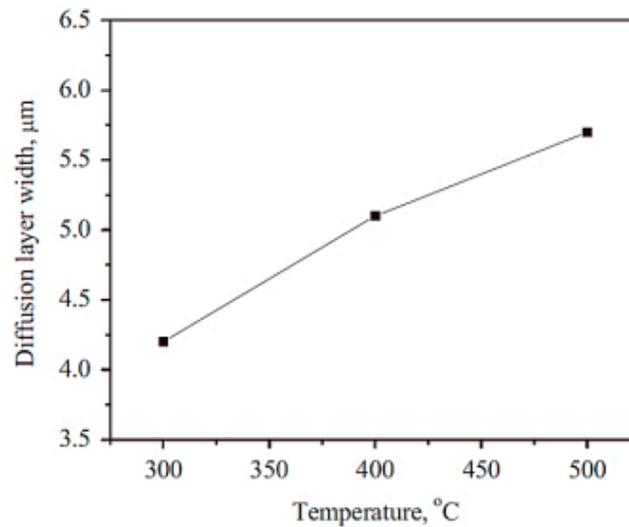
metalurgi yang kuat atau peningkatan kemampuan bentuk. Ada pun parameter yang perlu diperhatikan agar material yang akan dilakukan ARB antara lain (Ghalehbandi, 2019):

a) Permukaan Material

Kekuatan mekanik dapat dipengaruhi oleh karakteristik permukaan dari aspek kebersihan dan kekasarannya. Lembaran logam yang telah melalui proses pembentukan dan perlakuan panas memiliki kontaminasi atau kotoran pada permukaan seperti oksida, minyak, dan senyawa kimia akan bertindak sebagai penghalang serta dapat mempengaruhi kualitas ikatan material ARB. Oleh karena itu sebelum proses ARB, permukaan material perlu dibersihkan.

b) Temperatur *Rolling*

Pertama kali metode ARB ditemukan, metode ini dilakukan pada temperatur tinggi. Namun banyak juga yang melakukan proses ARB pada temperatur kamar. Kualitas ikatan juga dapat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur yang digunakan ketebalan lapisan difusi meningkat sehingga kekuatan ikatan meningkat dapat dilihat pada Gambar 2.7 sebagai berikut.



Gambar 2.7 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Lebar Lapisan Difusi (Ma, 2015)

c) Reduksi *Rolling*

Penentu utama kualitas ikatan pada material ARB adalah regangan plastis yang dihasilkan dari reduksi *rolling*. Nilai minimum pengurangan ketebalan atau reduksi diperlukan untuk mencapai ikatan yang mencukupi. Jumlah reduksi dapat berkurang ketika temperatur *rolling* meningkat hingga pada temperatur rekristalisasi. Maka, proses ARB dilakukan pada temperatur rekristalisasi dapat dicapai kualitas ikatan dengan persen reduksi sebesar 50%.

d) Gesekan *Rolling*

Penelitian dengan proses ARB sebagian besar dilakukan tanpa pelumas. Hasil yang diperoleh dengan koefisien gesekan dalam kondisi permukaan kering dan kasar, kekuatan lapisan rata-rata meningkat ketika koefisien gesekan meningkat antara lembaran material dan *roll*. Hal ini disebabkan

karena peningkatan tekanan kontak rata-rata antara bagian luar lapisan permukaan lembaran material dan *roll*.

e) Siklus

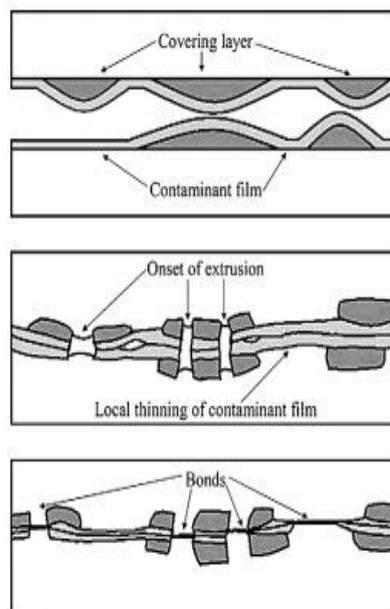
Siklus juga berperan penting dalam metode ARB. Semakin banyak siklus yang dilakukan pada ARB maka kekerasan material meningkat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Alizadeh (2013), perbandingan nilai kekerasan komposit aluminium dan aluminium monolitik dengan siklus yang digunakan sebanyak satu dan tiga siklus. Nilai kekerasan pada kedua sampel dengan satu siklus memiliki nilai yang hampir sama. Namun nilai kekerasan dengan tiga siklus diperoleh nilai sampel komposit aluminium lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium monolitik.

f) Penguat (*Reinforcement*)

Material komposit matriks logam dengan tambahan *reinforcement* dapat diproduksi dengan metode ARB. Metode ini dapat memproduksi komposit matriks logam dengan distribusi aditif penguat seragam di permukaan lembaran logam. Efek dari aditif penguat dalam hal bentuk, geometri, ukuran, dan fraksi *volume* dapat diteliti. Penguat pada komposit ini dapat berperan sebagai penghalang pergerakan dislokasi dan pertumbuhan retak sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada material. Berdasarkan penelitian Pramono (2016), terjadi peningkatan kekuatan tarik pada komposit matriks aluminium dengan penguat Al_2O_3 *nanofibers* tersusun secara sejajar dengan hasil akhir 114 MPa dimana 2 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai yang diperoleh oleh komposit dengan penguat Al_2O_3 *nanofibers* tersusun

secara acak sebesar 57 MPa.

Selain, itu, kualitas ikatan dapat dipengaruhi secara signifikan oleh mekanisme. Teori utama yang berkaitan dengan mekanisme ikatan proses ini, yaitu teori *film* (Ghalehbandi, 2019). Teori *film* menjelaskan jika dua permukaan logam bersih ditempatkan dalam kontak yang sangat dekat, maka ikatan akan terbentuk. Teori *film* merupakan mekanisme pada temperatur rendah ARB dan ikatan terjadi ketika permukaan logam terpapar oleh panas dapat mematahkan lapisan oksida dan tekanan *roll* mengikat permukaan yang dapat menyebabkan ekstrusi logam melalui retakan oksida, dapat dilihat Gambar 2.8.



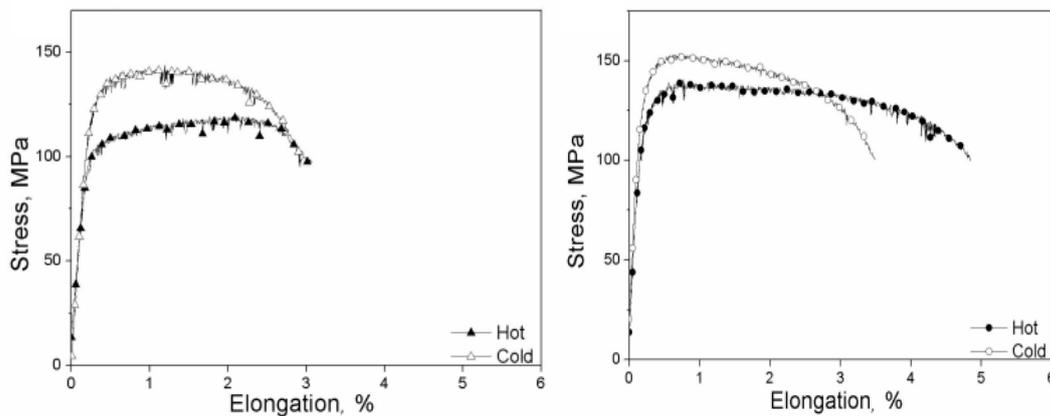
Gambar 2.8 Ilustrasi Patahan dan Ekstrusi pada Permukaan Lapisan Selama Proses ARB (Ghalehbandi, 2019)

Komposit matriks logam dapat diproduksi menggunakan teknologi ARB dengan penambahan *reinforcement* (penguat). Penguat yang digunakan pada penelitian ini berupa Al_2O_3 *nanofibers*. Al_2O_3 *nanofibers* memiliki modulus elastisitas yang tinggi,

kekuatan tarik yang tinggi, dan sifat temperatur tinggi (Chen, 2018). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pramono (2016), komposit matriks aluminium penguat Al_2O_3 *nanofibers* mengalami peningkatan kekuatan tarik sebesar 114 MPa dapat dilihat pada Tabel 2.4. Meskipun tidak mengalami peningkatan yang signifikan tetapi menunjukkan perubahan tren sifat mekanik. Peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan selama proses ARB minimal setelah satu siklus. Peningkatan sifat mekanik terjadi secara bertahap sesuai dengan peningkatan jumlah siklus.

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Komposit Aluminium (Pramono, 2016)

Material	<i>Vickers Hardness (HV10)</i>	<i>Tensile Strength (MPa)</i>
A0-CR	40,7	130
A0-HR	44,0	148
ANF-CR	48,5	113
ANF-HR	44,7	114



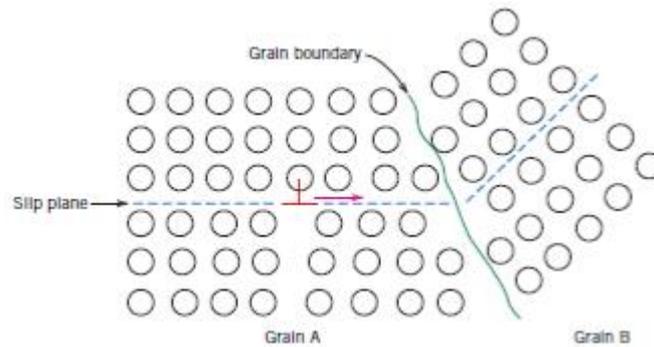
Gambar 2.9 Grafik Uji Tarik Komposit AA1070 (a) Tanpa Penguat
(b) Penguat Al_2O_3 Nanofibers (Pramono, 2016)

2.6 Mekanisme Penguatan

Mekanisme penguatan pada material komposit matriks logam terdapat hubungan antara pergerakan dislokasi dan sifat mekanik dari logam. Kemampuan material komposit matriks logam untuk melakukan deformasi plastis tergantung pada pergerakan dislokasi. Jika pergerakan dislokasi berkurang, maka kekuatan mekanik dapat ditingkatkan. Adapun beberapa mekanisme penguatan yang dapat terjadi pada proses ARB sebagai berikut.

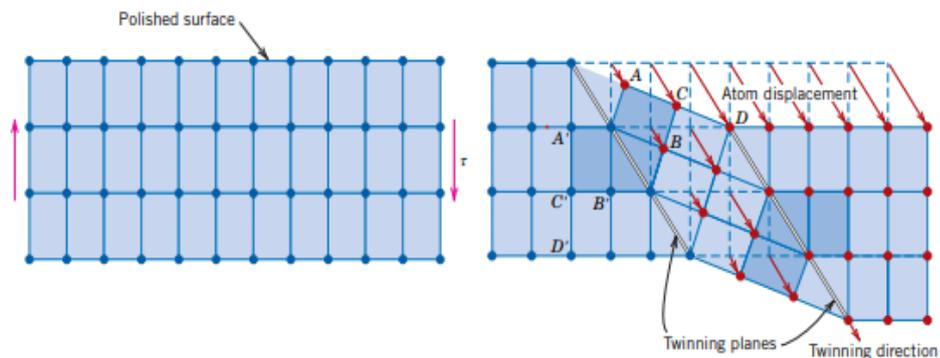
- a) Penghalusan butir merupakan mekanisme penguatan yang dihasilkan untuk menghalangi pergerakan dislokasi di sekitar batas butir. Ukuran butir dapat mempengaruhi sifat mekanik pada logam. Butiran yang berdekatan mempunyai orientasi kristalografi berbeda dan batas butir sama. Batas butir bertindak sebagai penghalang dislokasi mengakibatkan slip. Bidang slip bersifat diskontinu dan mengubah arah melintasi batas butir. Selama deformasi plastis, gerakan slip harus melintasi batas butir. Dapat dilihat pada Gambar

2.10 butiran A bergerak menuju butiran B.



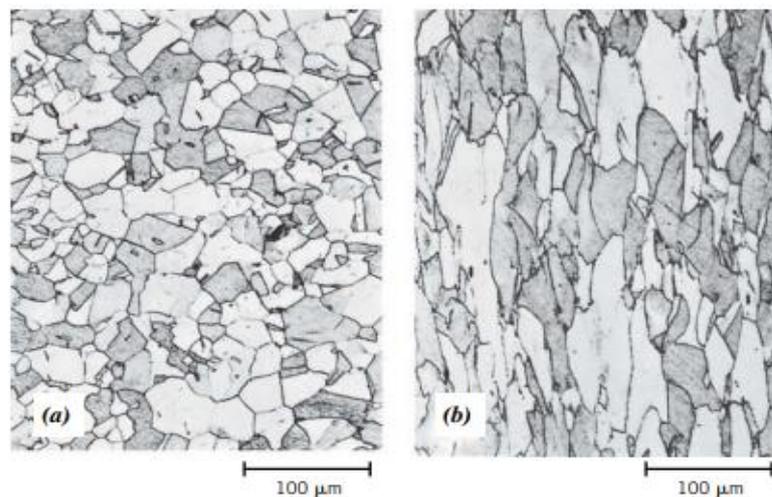
Gambar 2.10 Gerak Dislokasi Bertemu Batas Butir (Callister dan Wiley, 2015)

Selain terjadi slip, deformasi dapat terjadi karena *twinning*. *Twinning* merupakan deformasi yang terjadi karena terbentuknya *twin* (adanya simetri cermin antara dua atom) akibat gaya geser yang diberikan. Jumlah deformasi *twin* pada deformasi menyeluruh biasanya terjadi lebih kecil dibandingkan dengan slip. Gambar 2.10 memperlihatkan hasil *twinning* dari gaya geser yang diberikan. Posisi awal atom sejajar satu sama lain. Ketika gaya geser terjadi, atom berpindah posisi. Atom berlabel A' dan A berada pada posisi bayangan cermin melintasi batas *twin*.



Gambar 2.11 Skema Proses *Twinning* (Callister dan Wiley, 2015)

b) *Strain hardening* merupakan mekanisme penguatan logam dimana logam bersifat ulet berubah menjadi lebih keras dan kekuatan tinggi karena terdeformasi plastis. *Strain hardening* terjadi pada material logam yang mengalami dua dislokasi, yaitu dislokasi dalam unit sel dan dislokasi diakibatkan oleh deformasi plastis. Penguatan ini juga dapat disebut *cold working* karena mekanisme ini terjadi pada temperatur kamar yang relatif rendah sehingga peningkatan temperatur menurunkan laju *strain hardening*. Selama deformasi, integritas mekanik dan koherensi dipertahankan sepanjang batas butir yaitu, batas butir tidak terlepas. Butiran terdistorsi akibat dari deformasi plastis ditunjukkan pada Gambar 2.12 sebelum deformasi butiran berbentuk *equiaxial*, namun setelah deformasi butiran berbentuk memanjang (*elongated*).



Gambar 2.12 Perubahan Bentuk Butiran Sebelum dan Sesudah Deformasi (Callister dan Wiley, 2015)

2.7 *Preheating*

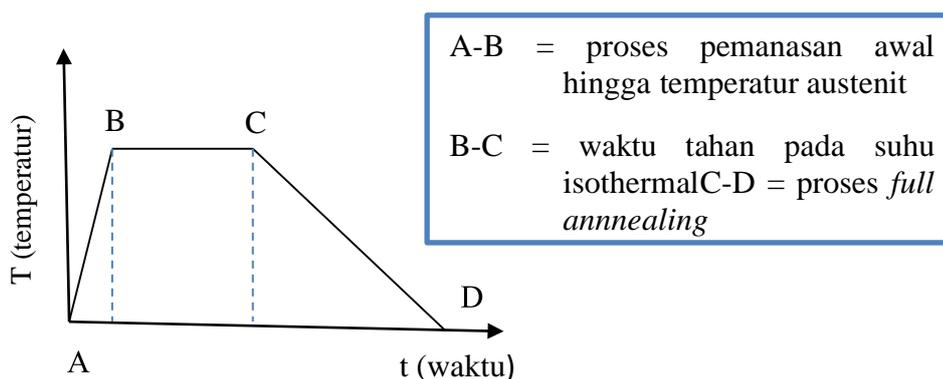
Preheating pada partikel penguat sangat diperlukan untuk menghilangkan uap air

dan gas dari permukaan partikel penguat. Jika di permukaan partikel penguat terdapat uap air dan gas maka kemungkinan terbentuknya aglomerasi partikel penguat dan terperangkapnya gas di dalam komposit akan semakin besar. Pemanasan awal partikel partikel penguat sebelum dicampurkan ke dalam cairan logam matrik membantu proses pencampuran antara partikel penguat dengan matrik. Hal ini disebabkan berkurangnya gas yang ada pada permukaan partikel. Selain itu kotoran di permukaan partikel juga ikut menghilang. Permukaan partikel yang bersih memberikan peluang yang lebih baik untuk interaksi partikel dengan demikian meningkatkan wettability dengan matrik (Eko Surojo, 2020). Berdasarkan hasil dari penelitian Eko Surojo dkk, 2020 menunjukkan bahwa perlakuan preheat pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap porositas, kekerasan, laju keausan spesifik dan koefisien gesek komposit. Perlakuan preheat pada partikel penguat Al_2O_3 mampu menurunkan porositas, meningkatkan kekerasan dan koefisien gesek, serta menurunkan laju keausan spesifik komposit. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mendapatkan pengaruh preheat komposit dengan penguat Al_2O_3 *Nanofibers* terhadap sifat fisik dan mekanik komposit AA1070 sehingga diketahui perlakuan preheat yang optimal.

2.8 *Annealing dan Rapid Thermal Annealing*

Annealing adalah perlakuan panas yang umumnya diterapkan pada paduan logam yang telah mengalami pengerjaan dingin dengan tujuan untuk melunakan kembali paduan logam dari keadaan pengerasan regangan (*strain hardening*). Tujuan dari diberlakukannya proses *annealing* sebelum proses APB adalah untuk meningkatkan keuletan material. Peningkatan keuletan material dapat terjadi karena terdapat

rekristalisasi dari butir-butir material ketika dipanaskan. Temperatur rekristalisasi merupakan temperatur minimum yang memungkinkan terjadinya peningkatan Kristal-kristal baru dari Kristal-kristal yang telah mengalami deformasi plastis. Proses rekristalisasi memerlukan aktivasi termal, maka hal ini hanya akan terjadi pada temperatur relatif tinggi dimana vakansi dapat berdifusi menghasilkan pengaturan dislokasi. Pada diagram fasa biner Al-Cu temperatur *annealing* yang digunakan pada aluminium dengan kandungan Cu dibawah 12% berkisar antara 299 hingga 4500C. aluminium seri 1xxx merupakan salah satu dari aluminium paduan yang *non heat treatable* atau tidak dapat dilakukan proses perlakuan panas dalam penguatnya. Umumnya perlakuan panas yang diberikan pada *non heat treatable* aluminium adalah diberikan perlakuan T5 temper (*artificially aged only*). Perlakuan T5 merupakan perlakuan panas dengan cara pemanasan dengan temperatur diatas temperatur rekristalisasi kemudian dilakukan pendinginan dengan mendinginkannya diudara (ASM Handbook, 1991).



Gambar 2.13 Diagram *Annealing*

Menurut jenis perlakuan temper, aluminium paduan dapat dibedakan menjadi beberapa macam, diantaranya F, H, O, W dan T. (ASM HandBook, 1991).

F : Fabricated, tidak ada perlakuan khusus seperti heat treatment atau strain hardening setelah paduan tersebut melalui proses fabrikasi seperti pengecoran, hot working, atau cold working.

O : Annealed, menandakan bahwa paduan tersebut telah mengalami proses pelunakkan (anneal). Proses anneal bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa sehingga dapat meningkatkan elastisitas selain itu proses ini bertujuan untuk melunakkan paduan dan untuk paduan casting proses anneal dilakukan untuk meningkatkan keuletan (ductility).

H : Strain hardened, digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses strain hardening, dengan atau tanpa proses heat treatment selanjutnya.

W : Solution heat treatment, merupakan kondisi temper yang tidak stabil digunakan hanya untuk paduan yang akan mengalami proses penuaan (aging) jika material tersebut didinginkan di temperatur ruang.

T : Thermal treated (heat treatment), digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses heat treatment, dengan atau tanpa proses strain hardening.

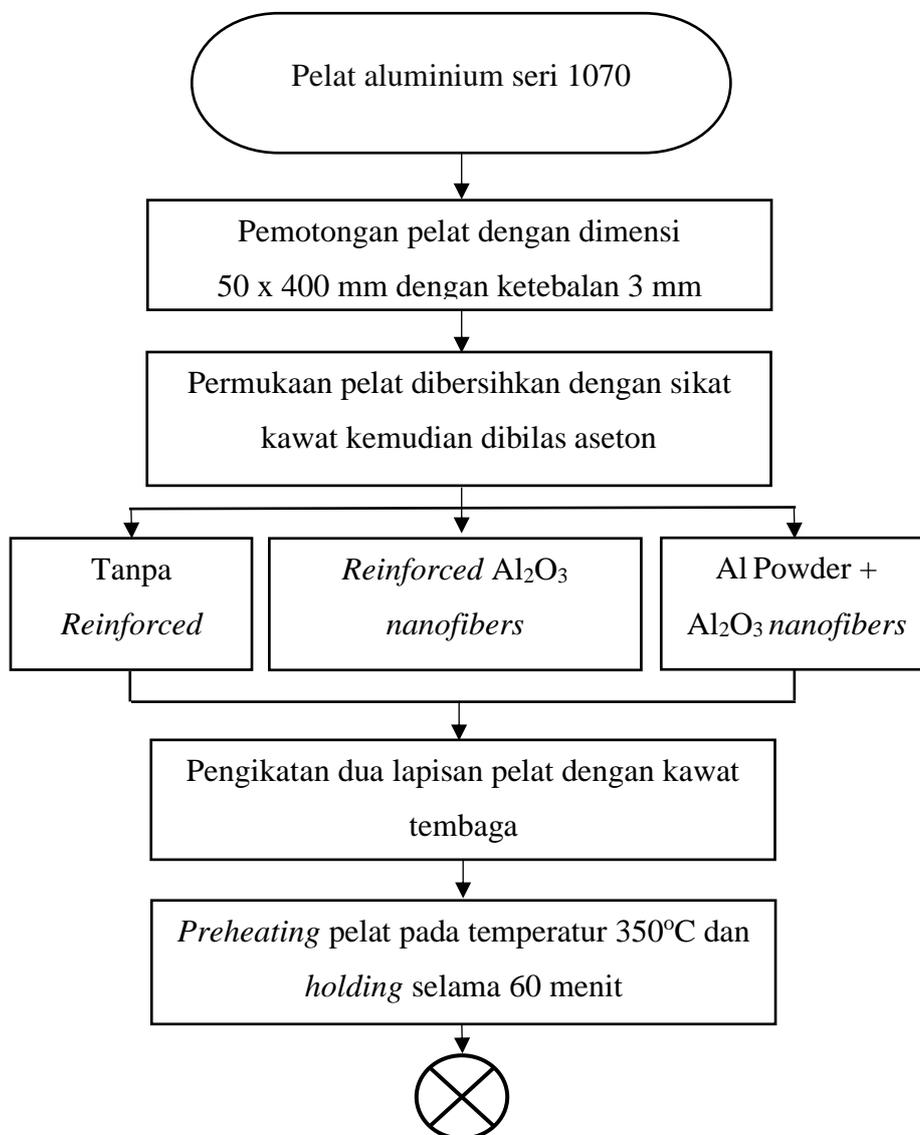
Rapid thermal anneal (RTA) adalah bagian dari *Rapid Thermal Processing*. Ini adalah proses yang digunakan dalam fabrikasi perangkat semikonduktor yang terdiri dari pemanasan wafer tunggal pada satu waktu untuk mempengaruhi sifat listriknya. Perlakuan panas yang unik dirancang untuk efek yang berbeda. Wafer dapat dipanaskan

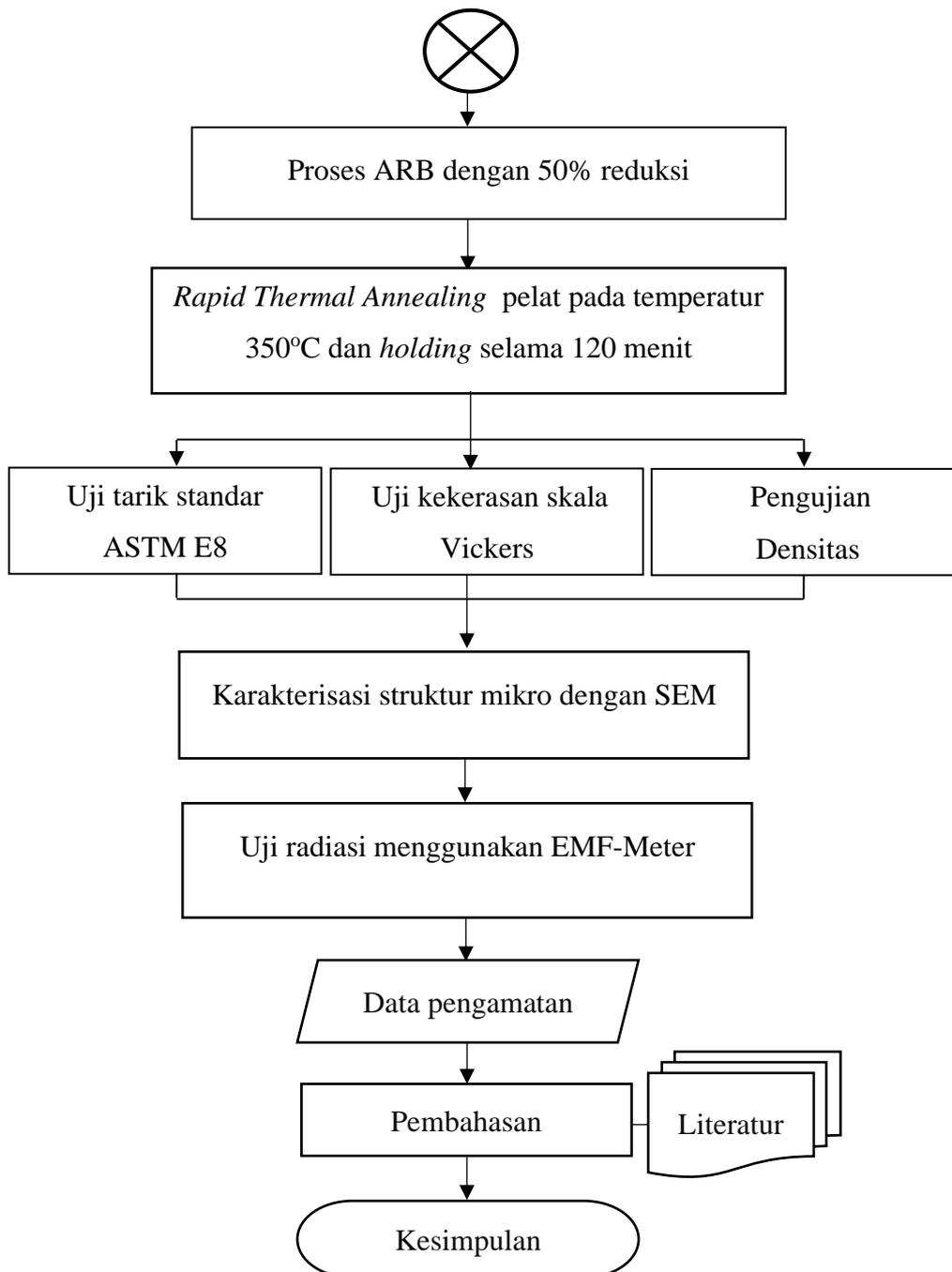
untuk mengaktifkan dopan, mengubah antarmuka substrat film-ke-film atau film-ke-wafer, memadatkan film yang disimpan, mengubah keadaan film yang tumbuh, memperbaiki kerusakan dari implantasi ion, memindahkan dopan atau mendorong dopan dari satu film ke dalam lain atau dari film ke substrat wafer. *Rapid thermal anneal* dilakukan oleh peralatan yang memanaskan satu wafer pada satu waktu menggunakan pemanas berbasis lampu, chuck panas, atau pelat panas yang didekatkan dengan wafer (A.T Fiory,2001).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat yang Digunakan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini:

1. Mesin Canai (*rolling*)
2. *Muffle Furnace*
3. Mesin Pemotong
4. Mesin Uji Tarik
5. Mesin Uji Kekerasan
6. *Scanning Electron Microscope (SEM)*
7. Mesin Bor
8. Gerinda Tangan
9. Sikat Kawat
10. Jangka Sorong
11. Mistar Besi
12. *Tools Steel*
13. Mesin Gerinda
14. Neraca Teknis
15. EMF-Meter

3.2.2 Bahan yang Digunakan

1. Aluminium 1070
2. *Al₂O₃ Nanofibers*
3. *Aceton*
4. Kawat Tembaga
5. Resin
6. *Hardener*
7. Aluminium Pouders

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

Sebelum dilakukan penelitian sampel harus dilakukan preparasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang lebih optimal, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Pelat aluminium 1070 dipotong dengan dimensi 50 x 400 mm dengan tebal 3 mm.



Gambar 3.2 Pelat yang Sudah Dipotong

2. Sampel dilakukan *preheating* dengan temperatur sebesar 350°C selama 60 menit.



Gambar 3.3 Proses *Preheating* pada *Muffle Furnace*

3. Permukaan pelat dibersihkan dengan sikat kawat dan aseton, untuk menghilangkan kotoran berupa minyak atau debu yang menempel pada permukaan. Untuk membentuk ikatan yang optimum antara strip dalam

proses APB, setiap kontaminasi seperti minyak dan oksida harus dihilangkan dari permukaan, proses terbaik adalah menghilangkan minyak pada permukaan dengan menyikat gores.



Gambar 3.4 (a) Sikat Kawat (b) *Aceton*

3. Al_2O_3 *nanofibers* ditambahkan ke permukaan pelat aluminium.



Gambar 3.5 Penguat Al_2O_3 *Nanofibers*

4. Setiap sudut pelat yang sudah dilubangi diikat dengan kawat tembaga dengan diameter 3mm setiap sudutnya.



Gambar 3.6 Sampel yang Telah Diikat di Setiap Sudut

3.3.2 Proses ARB

Proses selanjutnya, yaitu proses ARB, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Sampel dilakukan *cutting* dan *stacking*.
2. Sampel dilakukan *preheating* dengan temperatur 350 °C selama 60 menit.
3. Sampel dilakukan proses *rolling* dengan 50% reduksi ketebalan.



Gambar 3.7 Mesin *Rolling*

3.3.3 *Rapid Thermal Annealing*

Sampel dilakukan *rapid thermal annealing* dengan temperatur sebesar 350°C selama 120 menit.



Gambar 3.8 Proses *Rapid Thermal Annealing* pada *Muffle Furnace*

3.3.4 Karakterisasi Struktur Mikro dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Untuk karakterisasi struktur mikro, terdapat langkah-langkah diantaranya sebagai berikut:

1. Sampel yang sudah melalui proses ARB dilakukan preparasi sesuai dengan preparasi untuk metalografi.
2. Sampel dimasukkan ke alat SEM kemudian permukaan sampel diamati.
3. Selanjutnya didapatkan hasil struktur mikro atau morfologi sampel dengan skala mikrometer atau nanometer.



Gambar 3.9 Mesin *Scanning Electron Microscope* (SEM)

3.3.5 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan skala *Vickers* dengan pemberian lima titik indentasi pada area *interface* atau *surface* dengan pembebanan 100 kgf. Adapun langkah-langkah untuk uji kekerasan sebagai berikut.

1. Memotong sampel sesuai yang dibutuhkan.
2. Sebelum dilakukan proses pengujian kekerasan, sampel yang akan diuji dipersiapkan dengan menentukan titik-titik pada sampel yang akan diuji.
3. Pengujian dilakukan pada 5 titik yang berbeda untuk mendapatkan data yang akurat.
4. Kemudian sampel diletakkan pada *holder* dan dilakukan pengujian *Vickers*.

5. Beban ditentukan, kemudian menekan tombol *load*, beban yang diberikan sebesar 100 kgf.

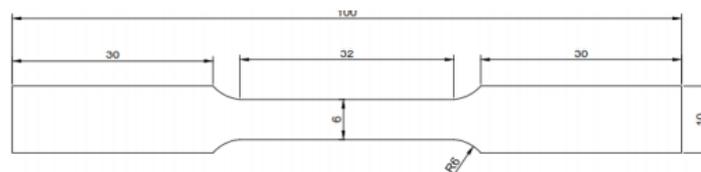


Gambar 3.10 Mesin Uji Kekerasan

3.3.6 Uji Tarik

Uji tarik pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik material ini setelah melalui proses ARB. Sampel uji tarik ini menggunakan standar ASTM E8. Adapun langkah-langkah untuk uji tarik sebagai berikut.

1. Sampel dipreparasi berdasarkan standar ASTM E8.
2. Sampel diletakkan pada *grip* mesin uji tarik.
3. Dilakukan proses uji tarik sampai sampel patah.
4. Hasil dari uji tarik dilakukan pengamatan.



Gambar 3.11 Standar Sampel Uji Tarik ASTM E8



Gambar 3.12 Mesin Uji Tarik

3.3.7 Uji Densitas

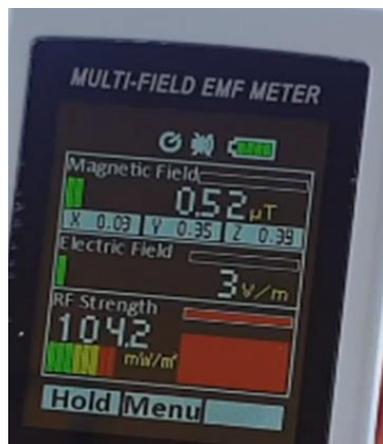
Densitas merupakan suatu pengukuran massa suatu material per unit volume dengan satuan gr/cm^3 . Densitas suatu material bergantung pada besar massa dan volume material. Semakin tinggi densitas suatu material, maka semakin besar massa setiap volumenya. Adapun langkah-langkah untuk uji densitas diantaranya sebagai berikut.

1. Setelah proses ARB, sampel ditimbang kemudian catat hasilnya.
2. Sampel diukur panjang, lebar, dan tebal lalu catat hasilnya.
3. Sampel dilakukan perhitungan volume.
4. Nilai densitas dari sampel dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Densitas} = \text{"Massa"} \frac{\text{"Volume"}}{\text{"Volume"}} \dots\dots\dots(3.1)$$

3.3.8 Uji Kemampuan Peredam Radiasi Menggunakan EMF-Meter

EMF-Meter mendeteksi masalah dibidang elektromagnetik dengan perubahan yang terukur dalam jumlah energi listrik atau magnetik yang mengalir di bidang yang tepat. Ini lengkap dengan komponen yang sangat sensitif yang merupakan bagian dari pengaturan perangkat pengujian dan pengukuran ini. Menurut fluktuasi dalam jumlah energi listrik atau magnetik (jika ada), EMF meter dapat menentukan masalah yang ada dalam pekerjaan kabel listrik dan saluran listrik. Metode ini masalah yang lebih besar dapat dicegah dan alur kerja yang tepat di lokasi produksi dipastikan. Karena prinsipnya yang mendeteksi radiasi elektromagnetik pada jaringan eletronik, alat ini dapat mendeteksi radiasi yang ada di sekitarnya (Wijaya, Kartika and Utari, 2019).



Gambar 3.13 Alat EMF Meter (Wijaya, Kartika and Utari, 2019).

Cara kerja alat ini adalah dengan mendeteksi gelombang eletromagnetik yang terpancar dari prangkat eletronik. Didalam EMF-Meter sendiri terdapat sensor yang berupa resistor dan kawat. Dimana kawat berperan sebagai pendeteksi gelombang elektromagnetik. Rangkaian sistem minimum Atmega328p, resistor 1 M Ω , Kawat sebagai antena (sensor elektromagnetik),

buah LED merah, 5 buah resistor 10 k Ω , *Power supply*, dan kabel-kabel yang diperlukan juga menjadi salah satu bagian yang berperan dalam jaringan alat ukur radiasi. jumlah resistor akan dapat mempengaruhi rentang kekuatan radiasi yang akan ditangkap (Josep. Vinsensius, 2020). Berikut ini adalah metode dari pengujian alat untuk menguji pelat penahan radiasi :

1. Diukurnya radiasi ponsel tanpa meletakkan alat peredam radiasi. ponsel yang sudah diukur radiasinya kemudian akan dicatat hasilnya.
2. Proses pengukuran radiasi ponsel dengan meletakkan alat peredam pada *Backdoor* ponsel dengan memperhatikan aspek sinyal dan kinerja ponsel dalam berinteraksi. Kemudian dicatat hasilnya
3. Analisa data dengan memperhatikan kinerja ponsel dan sinyal yang ditangkap dengan membandingkan radiasi yang terpancar sebelum pemasangan alat dan sesudah pemasangan alat.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini pembuatan komposit matriks logam menggunakan aluminium seri 1070 metode *accumulative roll bonding* (ARB) divariasikan dengan tanpa penguat, penguat Al_2O_3 *nanofibers* dan Al Powder + Al_2O_3 *nanofibers* serta variasi pengerjaan *hot* (*preheating* dengan temperatur 350°C di tahan selama 60menit dan *rapid thermal annealing* dengan temperatur 350°C ditahan selama 120 menit) dan pengerjaan *cold*. Berikut data hasil penelitian pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian densitas dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

Material	UTS (MPa)	Hardness (HV)	Densitas (gr/cm³)
<i>AA1070 no Reinforced Hot</i>	75	31,43	2,76
<i>AA1070 no Reinforced Cold</i>	75	25,18	2,78
<i>AA1070 + Al₂O₃ nanofibers Hot</i>	77	22,96	2,75
<i>AA1070 + Al₂O₃ nanofibers Cold</i>	70	25,38	2,73
<i>AA1070 + Al Powder + Al₂O₃ nanofibers Cold</i>	45	25,50	6,95

4.2 Pembahasan

4.2.1 Karakterisasi Awal Pelat AA1070

Karakteristik sampel awal perlu dilakukan, bertujuan untuk membandingkan karakteristik awal sampel sebelum dilakukan proses dengan karakteristik akhir setelah proses percobaan dilakukan. Pada penelitian ini komposit matrik logam dibuat dari pelat Aluminium Alloy (AA)1070 dengan komposisi kimia disajikan pada tabel 4.2 berikut :

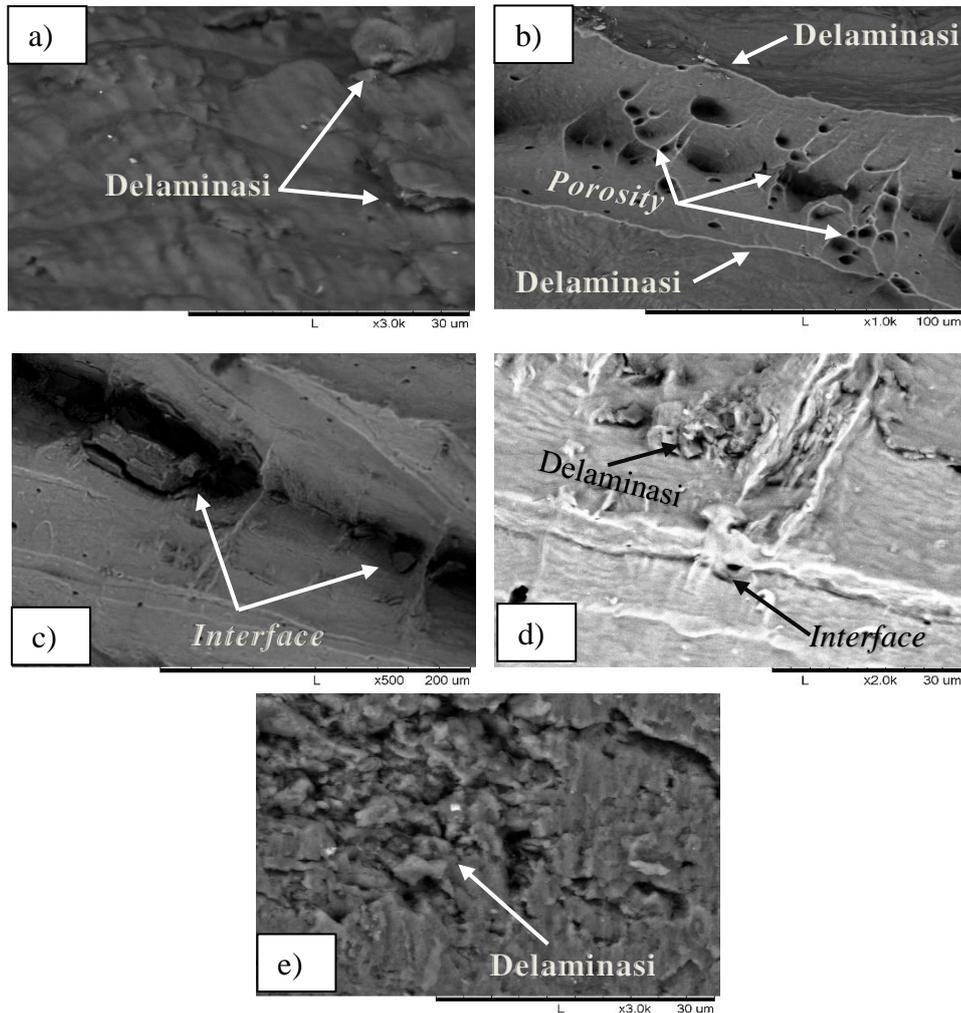
Tabel 4.2 Komposisi Kimia AA1070 (Indalco,2013)

KOMPOSISI KIMIA (%)	
Al	99.70 Min
Si	≤ 0,20
Fe	≤ 0,25
Cu	≤ 0,04
Mn	≤ 0,03
Mg	≤ 0,03
Cr	-
Zn	≤ 0,04
V	≤ 0,05
Ti	≤ 0,03
Be	≤ 0,0003

Aluminium 1070 pada penelitian ini karena aluminium ini termasuk material *non-heatreatable* dimana material tidak dapat meningkatkan sifat mekanik melalui perlakuan panas. Selain itu, aluminium 1070 termasuk dalam aluminium murni dengan kandungan 99,7%Al sehingga sifat mekanik yang dimilikinya masih rendah dibandingkan dengan aluminium paduan lainnya.

4.2.2 Pengaruh Perlakuan Panas *preheating* dan *rapid thermal annealing* terhadap Struktur Mikro AA1070

Tujuan dilakukan pengamatan struktur mikro pada sampel adalah untuk mengetahui ikatan dari sampel AA1070 tanpa penguat, dengan penguat Al_2O_3 *nanofibers*, dan sampel AA 1070 + Al Powder + Al_2O_3 *nanofibers* setelah dilakukan proses *Accumulative Roll Bonding* (ARB). Proses *Accumulative Roll Bonding* (ARB) diketahui dapat menghasilkan material *Ultrafine Grained* (UFG) yang diharapkan dapat merubah karakteristik sifat material yang lebih baik dari material sebelumnya (Pramono, 2016). Pada prosesnya digunakan sepasang aluminium yang sudah dipotong dengan ukuran 50 x 400 x 3 mm kemudian untuk menghasilkan ikatan yang optimal, penting untuk menghilangkan kontaminasi pada kedua permukaan aluminium yang akan direkatkan (S.H. Tsuji, 2002). Sebelum proses ARB aluminium divariasikan dengan penguat dan tanpa penguat serta dengan pengerjaan *hot* (*preheating* dan *rapid thermal annealing*). Pada hasil pengamatan struktur mikro ini ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Hasil SEM Komposit AA1070 Setelah Proses ARB **a)** Al no Reinforced *Hot* (350°C), **b)** Al no Reinforced *Cold*, **c)** Al₂O₃ Nanofibers *Hot* (350°C), **d)** Al₂O₃ Nanofiber *Cold*, **e)** Al Powder + Al₂O₃ Nanofiber *Cold*

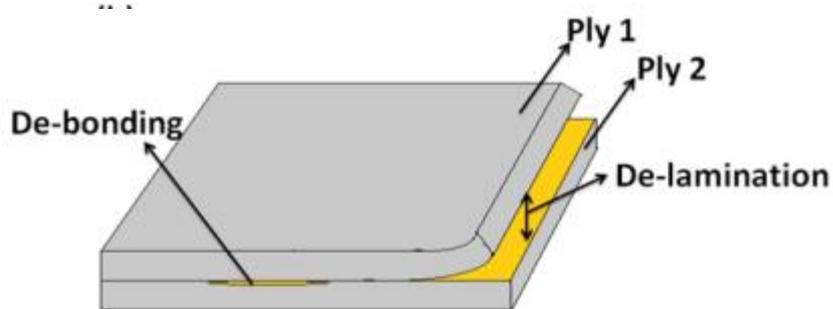
Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) komposit AA1070 dilakukan proses ARB pada gambar 4.1. Gambar (a) merupakan gambar struktur mikro dari ARB sampel AA1070 tanpa penguat dan dengan pengerjaan panas *preheating* temperatur 350°C ditahan selama 60 menit, serta dilakukan *rapid thermal annealing* dengan temperatur 350°C ditahan selama 120 menit, terlihat pada gambar menunjukkan fenomena delaminasi, kemudian terlihat distribusi

struktur mikro yang halus pada aluminium murni karena logam murni tidak memiliki presipitat yang menghalangi ikatan butir sehingga morfologi butir cenderung lebih halus (Pramono, 2014). Sedangkan pada gambar (b) merupakan gambar struktur mikro material ARB sampel AA1070 tanpa penguat dengan pengerjaan dingin dan dilakukan *rapid thermal annealing* dengan temperatur 350°C ditahan selama 120 menit, terlihat pada gambar menunjukkan fenomena delaminasi dan juga *porosity*, hal ini dapat terjadi karena preparasi sampel kurang bersih dan kurangnya beban yang diberikan kepada sampel saat proses *accumulative roll bonding* ARB (Reihanian, 2014).

Pada gambar (c) merupakan gambar struktur mikro dari ARB sampel AA1070 dengan penguat Al_2O_3 *Nanofibers* dengan pengerjaan panas *preheating* temperatur 350°C ditahan selama 60 menit, serta dilakukan *rapid thermal annealing* dengan temperatur 350°C ditahan selama 120 menit, terlihat pada gambar (c) menunjukkan fenomena *interface*. Sedangkan pada gambar (d) merupakan gambar struktur mikro dari ARB sampel AA1070 dengan penguat Al_2O_3 *Nanofibers* dengan pengerjaan dingin dilakukan *rapid thermal annealing* dengan temperatur 350°C ditahan selama 120 menit, terlihat pada gambar menunjukkan fenomena *interface* dan delaminasi. Pada gambar (e) merupakan gambar struktur mikro dari ARB sampel AA1070 ditambah Al Powder ditambah Al_2O_3 *Nanofibers* dengan pengerjaan dingin dan *rapid thermal annealing*, terlihat pada gambar mengalami fenomena delaminasi.

Pada gambar 4.1 (a,b,c,d,e) mengalami fenomena *interface*, delaminasi dan juga *porosity*, disebabkan oleh kurang sempurnanya laminasi. Berdasarkan

penelitian yang telah dilakukan oleh Pramono 2018, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kurang sempurnya laminasi yaitu diantaranya beban pada saat proses rolling sangat berpengaruh dalam terbentuknya garis *interface* pada material hasil ARB. Adapun ketidaksempurnaan selama proses ARB akibat dari fenomena delaminasi yaitu kegagalan dalam material yang dilaminasi, yang mengarah pada pemisahan lapisan dan terjadi karena kelebihan tegangan geser dalam material. Pada gambar 4.2 (a,b,d,e) nampak ada garis yang hilang pada *interface*. Garis hilang ini (*Missing line*) adalah bagian yang menyatu sempurna akibat proses rolling, hadirnya garis *missing line* ini sebagai tanda sempurnanya kualitas bonding dan juga dapat meningkatkan kekuatan material (A. Pramono, 2016). Dapat dilihat pada gambar 4.2 menunjukkan ilustrasi delaminasi.

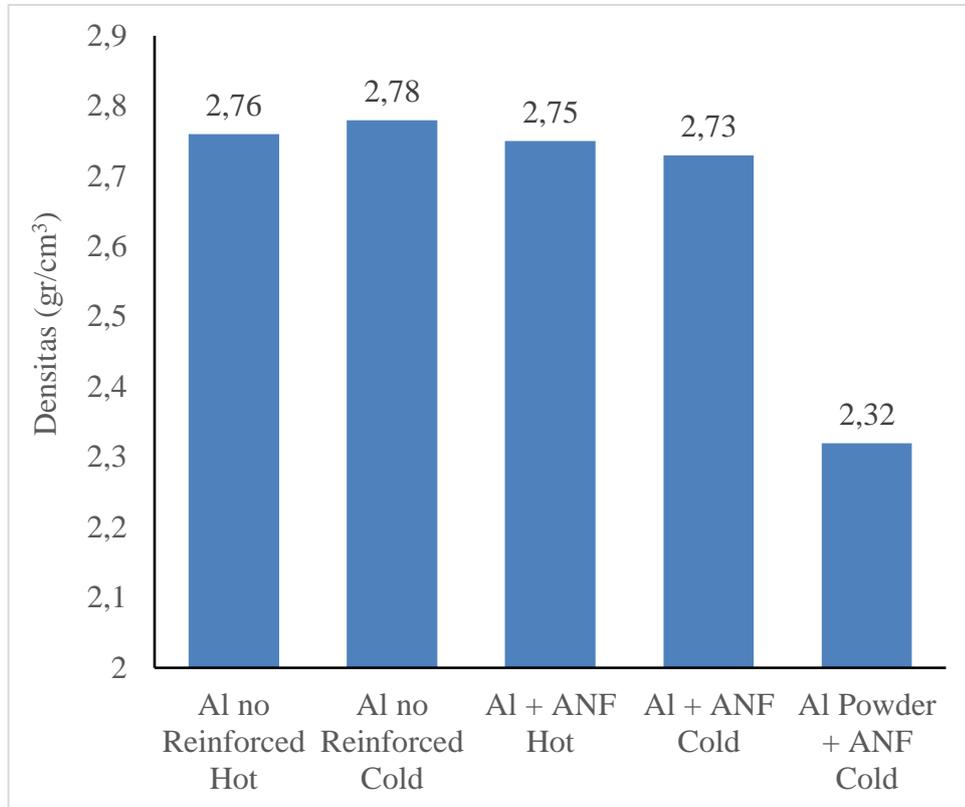


Gambar 4.2 Ilustrasi Fenomena Delaminasi (Kumar, 2019)

Pada strukturmikro hasil *rapid thermal annealing* temperatur 350°C ditahan selama 120 menit pada aluminium AA1070 menunjukkan secara morfologi butiran halus dalam fase matriks Al yang tersebar secara merata di antara senyawa Al_2O_3 *Nanofibers*, yang tersebar secara acak sebagai presipitat. Setelah proses *rapid thermal annealing* temperatur 350°C ditahan selama 120 menit

terjadi pertumbuhan butir yang diikuti oleh pengurangan ukuran butir aluminium sebagai matriks, tetapi Al_2O_3 *Nanofibers* mengendap pada butiran presipitat yang memiliki pembesaran. *Rapid thermal annealing* pada suhu tinggi mengakibatkan partikel mengendap dan berinteraksi dengan batas butir yang tersisa (Pramono, 2018). Setelah *rapid thermal annealing* pada suhu 350°C ditahan 120 menit, endapan partikel yang berdifusi akan berinteraksi dengan sisa batas butir. Selama *rapid thermal annealing* terjadi kerapatan dislokasi yang berkurang akibat efek dari pemulihan dengan meningkatkan keuletan. Perlakuan *rapid thermal annealing* sampel AA1070, merupakan pengendapan yang berlangsung bersamaan dengan rekristalisasi. Presipitat akan terus tumbuh dengan meningkatkan suhu anil dan memainkan peran penting untuk menstabilkan mikro pada suhu tinggi (Jayaganthan, 2013).

4.2.3 Hasil Pengujian Densitas



Gambar 4.3 Diagram Nilai Densitas Komposit AA1070

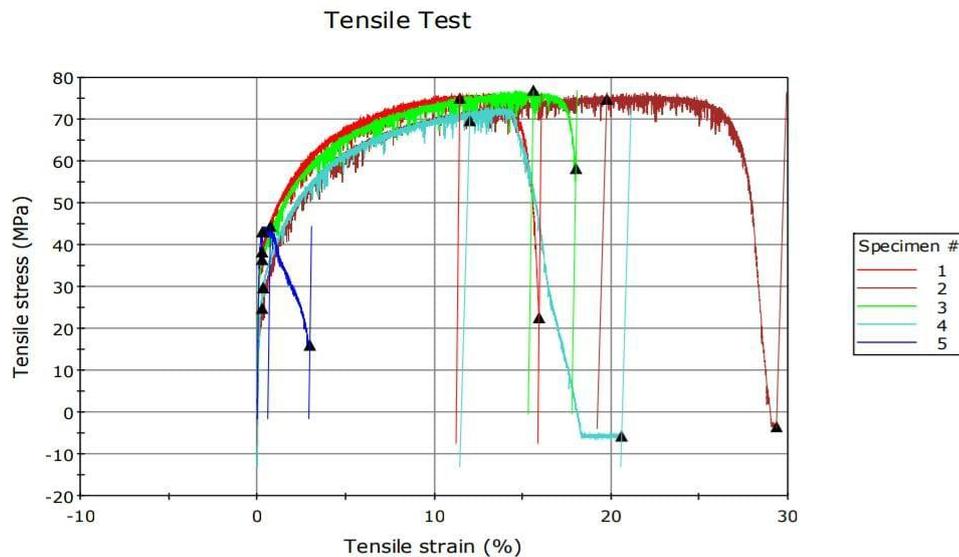
Gambar 4.3 memperlihatkan nilai densitas komposit AA1070. Nilai densitas komposit Al no Reinforced dengan pengerjaan roll panas *preheating* pada temperatur 350°C dan dilakukan *rapid thermal annealing* pada temperatur 350°C, yaitu 2,76 g/cm³. Pada nilai densitas komposit Al no Reinforced dengan pengerjaan roll dingin dilakukan *rapid thermal annealing* pada temperatur 350°C, nilai densitas yang diperoleh 2,78 g/cm³. Peningkatan nilai densitas dapat terjadi karena perubahan bentuk butir akibat proses deformasi plastis yang diberikan sehingga bentuk butir yang semula *unaxial* menjadi pipih. Material

yang tereduksi, menyebabkan dimensi ketebalan material berubah menjadi tipis dibandingkan dengan ketebalan awal (Wiyono, 2018).

Sedangkan nilai densitas material komposit Al + ANF dengan pengerjaan roll panas *preheating* pada temperatur 350°C dan dilakukan *rapid thermal annealing* pada temperatur 350°C, yaitu 2,75 g/cm³. Pada nilai densitas material komposit Al + ANF dengan pengerjaan roll dingin dan dilakukan *rapid thermal annealing* pada temperatur 350°C, yaitu 2,73 g/cm³. Kemudian Pada nilai densitas material komposit Al Powder + ANF dengan pengerjaan roll dingin dan dilakukan *rapid thermal annealing* pada temperatur 350°C, yaitu 2,32 g/cm³. Seperti dilihat pada data tersebut, densitas material mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena bidang kontak aluminium berpenguat Al₂O₃ *nanofibers* mengalami perenggangan saat proses *roll*. Akibat dari proses *roll*, alumina melebar dan terjadi potongan alumina menjadi fragmentasi. Fenomena inilah yang dapat menyebabkan menurunnya kerapatan dan nilai densitas pada kedua material tersebut (Wiyono, 2018).

4.2.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik material komposit AA1070 dilakukan dengan standard ASTM-E8. Grafik uji tarik berikut menunjukkan kemampuan suatu material untuk menahan beban sampai melewati batas plastisnya sehingga mengalami patah (*fracture*). Grafik uji tarik dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Grafik Nilai Kuat Tarik Komposit AA1070, Sampel 1 ARB Al no Reinforced *Hot Preheating* dan *Annealing*, Sampel 2 ARB Al no Reinforced *Cold* dan *Annealing*, Sampel 3 ARB Al + ANF *Hot Preheating* dan *Annealing*, Sampel 4 ARB Al + ANF *Cold* dan *Annealing*, Sampel 5 ARB Al Powder + ANF *Cold* dan *Annealing*.

Gambar 4.4 menunjukkan nilai kuat tarik material ARB komposit AA1070. Material Komposit AA1070 dengan kode sampel 1 nilai kuat tarik sebesar 75 MPa. Material komposit AA1070 dengan kode sampel 2 diperoleh nilai kuat tarik sebesar 75 MPa. Material kode sampel 3 nilai kuat tarik yang diperoleh sebesar 77 Mpa. Material kode sampel 4 nilai kuat tarik yang diperoleh sebesar 70 Mpa. Material kode sampel 4 nilai kuat tarik yang diperoleh sebesar 45 Mpa. Pada masing-masing material komposit tidak mengalami perbedaan yang signifikan, tetapi tetap terjadi peningkatan nilai kuat tarik.

Peningkatan nilai kuat tarik terjadi pada sampel 3 yaitu ARB Al + ANF *Hot Preheating* dan *Annealing*, didapatkan hasil sebesar 77 MPa. Terjadi akibat mekanisme penguatan komposit, Terdapat mekanisme penguatan yang memiliki

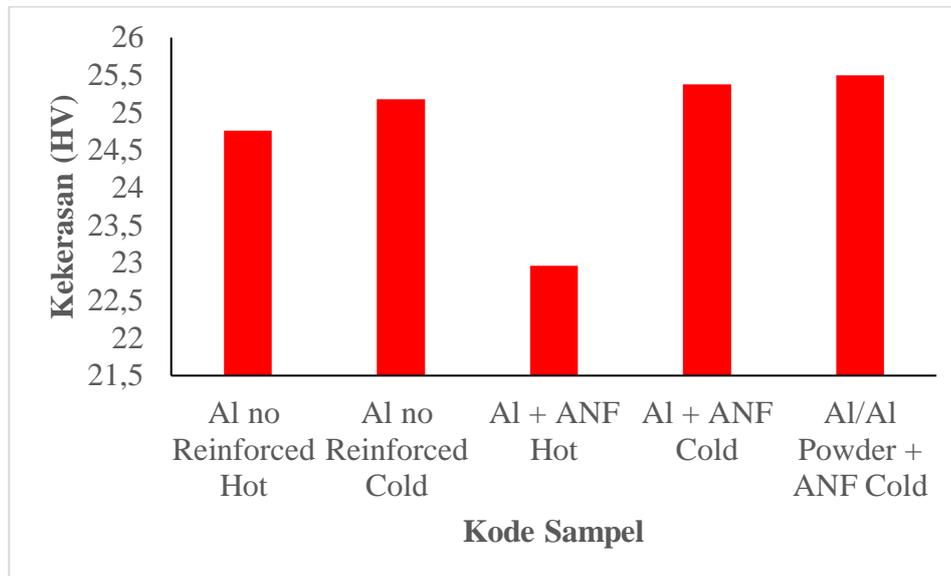
kontribusi penting dalam penguatan komposit, yaitu mekanisme *strain hardening*. Setelah mengalami proses ARB, nilai kuat tarik mengalami peningkatan, hal ini sesuai dengan literatur dimana semakin banyak logam mengalami penguatan regangan maka dislokasi akan meningkat sehingga kemampuan untuk direduksi akan semakin berkurang (Azushima A, 2008). Dislokasi yang meningkat disebabkan oleh mekanisme strain hardening mekanisme ini terjadi karena terdapat deformasi plastis pada saat proses ARB diterapkan, sehingga mengakibatkan distorsi kisi yang membuat dislokasi akan bergerak dan terjadi penumpukan dislokasi (Pramono, A. 2018). Selain itu karena adanya tegangan dari luar, dislokasi bergerak kepermukaan luar, sehingga terjadi deformasi. Selama dislokasi bergerak dan berinteraksi satu dengan yang lainnya. Hasil interaksi tersebut ada yang mudah bergerak dan sulit bergerak. Dislokasi yang sulit bergerak berfungsi sebagai sumber dislokasi baru sehingga kerapatan dislokasi semakin tinggi. Semakin tinggi kerapatan dislokasi, maka semakin sulit dislokasi bergerak sehingga kekuatan logam akan naik. Berikut tabel nilai uji tarik komposit dengan metode ARB:

Tabel 4.3 Nilai Uji Tarik Komposit AA1070 dengan Metode ARB

Mechanical Properties	ARB Al no Reinforced Hot	ARB Al no Reinforced Cold	ARB Al + ANF Hot	ARB Al + ANF Cold	Al Powder + ANF Cold
Temperatur Preheating dan Rapid Thermal Annealing (°C)	350	350	350	350	350
Ultimate Tensile Strength (MPa)	75	75	77	70	45
Fracture (MPa)	25	8	58	5	18
Elongation (%)	11,2	19,2	15,3	11,5	0,6

4.2.5 Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian *Vickers Hardness* (HV). Terlihat perbedaan nilai kekerasan akibat dari temperatur *preheating* dan *annealing* dan penambahan penguat Al_2O_3 *nanofibers* dengan menggunakan metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB). Gambar 4.6 menunjukkan hasil dari pengujian kekerasan.



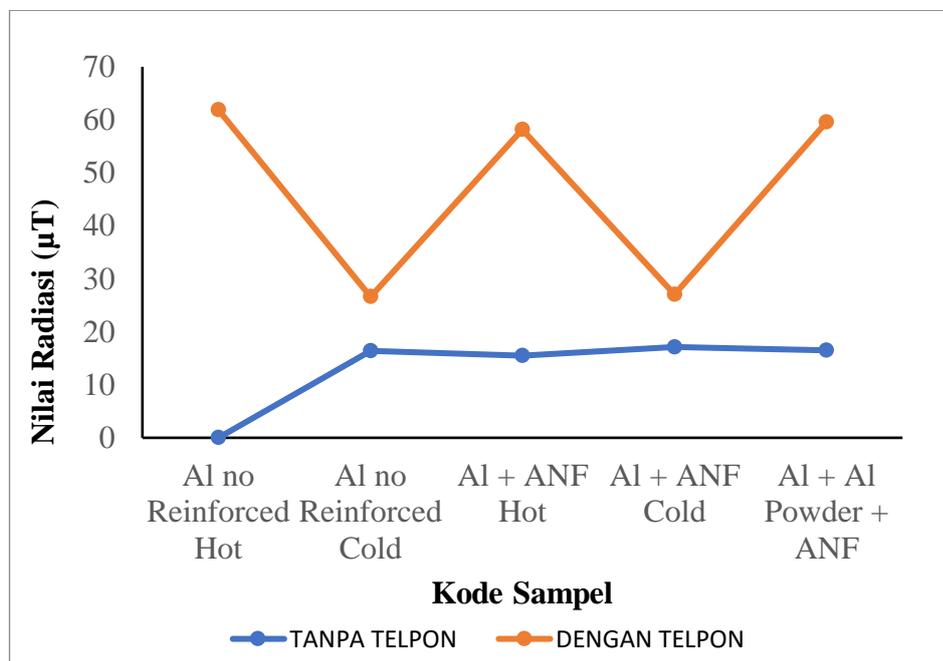
Gambar 4.5 Diagram Nilai Kekerasan Terhadap Temperatur *Preheating* dan *Annealing* dengan Metode *Accumulative Roll Bonding*

Hasil uji kekerasan pada Gambar 4.6 menunjukkan aluminium matriks komposit kode sampel Al no Reinforced Hot sebelum ditambahkannya penguat dengan proses ARB pada temperatur *preheating* dan rapid thermal *annealing* 350⁰C yaitu sebesar 24,76 HV, sedangkan nilai kekerasan pada kode sampel Al no Reinforced cold dengan proses ARB dingin kemudian di lakukan *rapid thermal annealing* yaitu sebesar 25,18 HV. Kemudian nilai kekerasan pada kode sampel Al + ANF Hot yaitu sebesar 22,96, pada nilai kekerasan kode sampel kode Al + ANF Cold yaitu sebesar 25,38 HV dan pada kode sampel Al + Al Powder + ANF Cold yaitu sebesar 25,5 HV. Nilai kekerasan komposit dengan ARB panas atau dilakukan *preheating* dan *rapid thermal annealing* lebih kecil dibandingkan dengan dengan proses ARB dingin kemudian dilakukan *rapid thermal annealing*. Hal ini disebabkan karena perlakuan panas *preheating* dan

rapid thermal annealing dapat menyebabkan ukuran butir lebih besar sehingga kerapatan antar butir berkurang dan dapat menurunkan nilai kekerasan serta kekuatan (Pramono, A. 2015).

4.2.6 Hasil Pengujian Radiasi

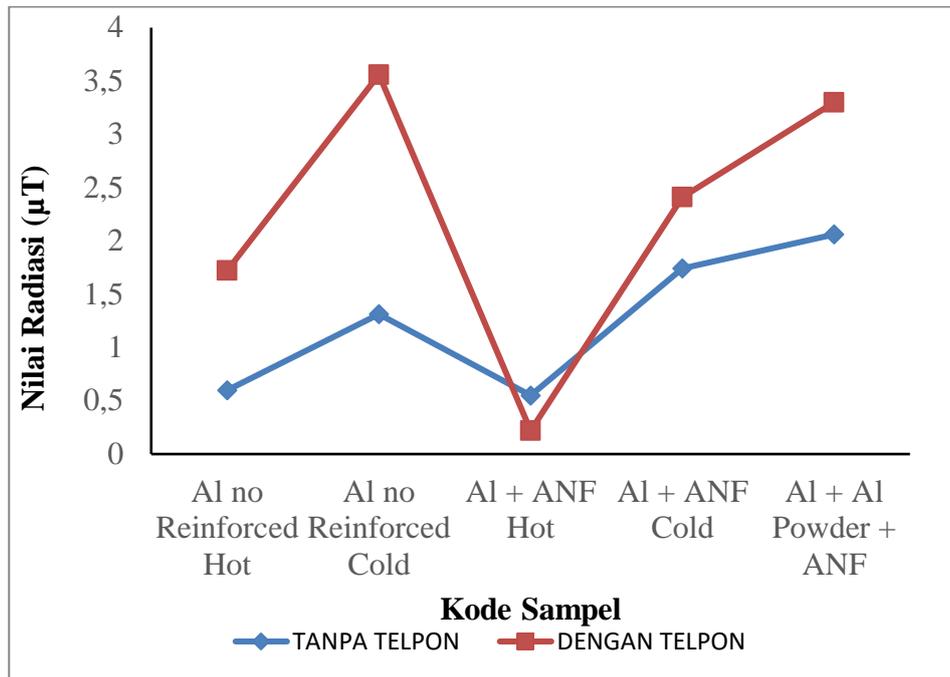
Pengujian material radiasi dilakukan dengan menggunakan alat bernama *Elektromagnetik Field-Meter*. Alat ini biasa digunakan untuk mengukur radiasi pada perlengkapan elektronik, pemancar gelombang elektromagnetik, dan juga pada jaringan listrik. Alat ini juga digunakan untuk pengukuran radiasi pada media perangkat elektronik. Grafik hasil pengujian radiasi dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7 berikut:



Gambar 4.6 Grafik Pengujian Radiasi Tanpa Material Peredam

Gambar 4.6 menunjukkan nilai hasil pengujian radiasi elektromagnetik pada ponsel dengan merek redmi tanpa menggunakan material peredam, diukur

menggunakan alat EMF-Meter. Dimana pengukuran menggunakan dua mode yaitu tanpa telepon dan dengan panggilan telepon. Kode sampel 1 menunjukkan nilai radiasi tanpa telepon sebesar 15,54 μT dan menggunakan panggilan telepon sebesar 61,86 μT . Kode sampel 2 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 16,39 μT dan menggunakan panggilan telepon sebesar 26,60 μT . Kode sampel 3 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 15,50 μT dan menggunakan panggilan telepon sebesar 58,20 μT . Kode sampel 4 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 17,13 μT dan menggunakan panggilan telepon sebesar 27 μT . Kode sampel 5 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 16,49 μT dan menggunakan panggilan telepon sebesar 59,53 μT . Pada masing-masing sampel mengalami peningkatan nilai radiasi yang signifikan pada saat mode panggilan telepon. Hal ini terjadi karena pada saat panggilan telepon, ponsel menghasilkan energi foton yang sangat besar dan potensi radiasinya lebih besar. Kemudian pada saat mode panggilan telepon, ponsel memiliki transmitter yang mengubah suara menjadi medan sinusoidal kontinu yang kemudian dipancarkan keluar melalui antenna dan medan ini berfluktuasi melalui udara. Medan RF (Radio Frequency) inilah yang menimbulkan radiasi elektromagnetik (Alfarizi, 2021). Grafik hasil pengujian radiasi dengan menggunakan material peredam dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 Grafik Pengujian Radiasi Menggunakan Material Peredam

Gambar 4.7 menunjukkan nilai hasil pengujian radiasi menggunakan material peredam, pada kode sampel 1 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 0,60 μT dan menggunakan mode panggilan telepon sebesar 1,72 μT . Kode sampel 2 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 1,31 μT dan menggunakan mode panggilan telepon sebesar 3,56 μT . Kode sampel 3 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 0,55 μT dan menggunakan mode panggilan telepon sebesar 0,22 μT . Kode sampel 4 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 1,74 μT dan menggunakan mode panggilan telepon sebesar 2,41 μT . Kode sampel 5 diperoleh nilai radiasi tanpa telepon sebesar 2,06 μT dan menggunakan mode telepon sebesar 2,41 μT . Kode spesimen 3 cocok diaplikasikan sebagai material antiradiasi karena dapat meredam radiasi yang sangat signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil dan analisa pada pembuatan komposit aluminium 1070 dengan penguat Al_2O_3 *nanofibers* dan tanpa penguat kemudian dengan perlakuan *preheat* dan *rapid thermal annealing* menggunakan metode *accumulative roll bonding* (ARB) dapat disimpulkan :

1. a. Hasil pengamatan struktur mikro pada sampel dengan perlakuan *preheating* dan *rapid thermal annealing* menunjukkan fenomena delaminasi dan interface. Sedangkan pada sampel dengan perlakuan *rapid thermal annealing* menunjukkan fenomena porosity, delaminasi dan juga interface.
- b. Nilai *Ultimate Tensile Strenght* pada sampel dengan perlakuan *preheating* dan *rapid thermal annealing* temperatur 350°C sebelum penambahan *reinforced* yaitu sebesar 75 Mpa, setelah penambahan *reinforced* yaitu sebesar 77 Mpa, penambahan *reinforced* berpengaruh terhadap nilai *Ultimate Tensile Strenght*.
2. Material komposit aluminium hasil ARB yang efektif meredam radiasi yaitu padual Al + ANF dengan perlakuan panas, dapat meredam radiasi pada saat mode panggilan telepon dari 58, 20 μ T hingga 0,22 μ T.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Menambah siklus *rolling* agar dapat mengetahui pengaruh penguat yang lebih signifikan.
2. Mengembangkan penelitian untuk potensi produksi masal dengan material *Case* ponsel dari material komposit matriks aluminium hasil ARB .

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, K.M. Tyagi, R.K. Chaubey, V.K. and Dixit, A. 2019. Comparison of Different Methods of Severe Plastic Deformation for Grain Refinement. *IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng.* pp 1-11.

Alfarizi, P., Suryadi, D., Yacoub, R. R., Marpaung, J., Program,), Teknik, S., Jurusan, E., & Elektro, T. 2021. Identifikasi Pengukuran Intensitas Radiasi Medan Elektromagnetik Pada Smartphone dan Tingkat Batas Aman Terhadap Tubuh Manusia.

ASM Handbook. 1990. *Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special – Purpose Materials Volume 2*. ASM International.

ASM Handbook. 2001. *Composites Volume 21*. ASM International.

Callister, W. and William, D. 2015. *Fundamental of Material Science and Engineering An Integrated Approach Fifth Edition*. Wiley, USA.

Chen, Y. Qin, H. Kurganova, Y.A. and Gaaze, V.K. 2018. A Method for Introduction of Al₂O₃ Nanofiber into Aluminum Alloy. *IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng.* pp 1-6.

Dharmawan, D. K., Kalanjati, V. P., & Abdurachman, A. 2020. Pengaruh Shielding Aluminium Foil Terhadap Perubahan Ketebalan Lapisan Epitel Kornea Akibat Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Pada Tikus Wistar Jantan. *Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan : Publikasi Ilmiah Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya*, 7(2), 55–59.

Enny. 2013. *Effek Samping Penggunaan Ponsel* (Vol. 17, Issue 4).

Ghalehbandi, Seyed M. Malaki, M. and Gupta, M. 2019. Accumulative Roll Bonding A Review. *Applied Science*. 9,3267.

Gibson, Ronald. F. 2016. *Principle of Composite Material Mechanics Fourth Edition*. CRC Press Taylor and Francis Group, New York.

Ibrahim, I. Mohamed, F. and Lavernia, E.J. 1991. Particulate Reinforced Metal Matrix Composites: A Review. *J Mater Sci*. 26(5): 1137–56.

Kaw, Autar K. 2006. *Mechanics of Composite Materials, Second Edition*. Taylor & Francis Group, New York.

Manarisip, M., Rumampuk, J. F., & Pangemanan, D. H. C. 2015. Gambaran Gangguan Radiasi Handphone Terhadap Kesehatan Siswa Kelas XI SMK Discovery Manado.

Ma, M. Huo, P. Liu, W. Wang, G. and Wang, D. 2015. Microstructures and Mechanical Properties of Al/Ti/Al Laminated Composites Prepared by Roll Bonding. *Mater.Sci.Eng.* pp. 301-310.

M. Fischetti, "The cellular phone scare," in *IEEE Spectrum*, vol. 30, no. 6, pp. 43-47, June 1993, doi: 10.1109/6.214586.

Najafzadeh, Niloofar. 2016. Microstructural Analysis of Accumulative Roll-Bonded Aluminium. School of Materials Science and Engineering Faculty of Science The University of New South Wales.

Pramono, Agus. 2008. 'Komposit Sebagai Trend Teknologi Masa Depan'. Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Pramono, Agus. Kollo, Lauri. Veinthal, Renno. 2015. Aluminium Based Composites by Novelty-Process: Repetitive Press Roll Bonding (RPRB). *Procedia Chemistry*. Vol.(16). pp.473-479.

Pramono, Agus. 2016. Investigation of Severe Plastic Deformation Processes for Aluminium Based Composites. *Faculty of Mechanical Engineering Tallin University of Technology*.

Pramono, A., Kollo, L., and Renno, V. 2016. Hot and Cold Region During Accumulative Roll Bonding of Al/Al₂O₃. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*. Vol.(2):65. pp.132-137.

Pramono, A. Jamil, A.M. and Milandia, A.. 2018. Aluminium Based Composites by Severe Plastic Deformation Process as a New Methods of Manufacturing Technology . *MATEC Conference* Vol.(218): 04011. pp.1-9.

Pramono, A. 2018. Perlakuan Panas Paduan Aluminium Berbutir Halus Ultrafine Grained Hasil Teknologi Severe Plastic Deformation. *Jurnal TEKNIKA*. Vol.(12): 2. pp.107-118.

Pramono, A. Alhamidi, A. dan Nurfadila, R. 2018. Pengaruh Parameter Terkontrol pada Proses Accumulative Roll Bonding (ARB) Terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Aluminium Seri 6 (AA6061). *Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA* Vol.(4): 2. pp.68-73.

Pramono, A. Dhoska, K. Alhamidi, A. Trenggono, A. and Milandia, A.. 2019. Investigation of Mechanical Properties on Composites Materials by Severe Plastic Deformation (SPD) Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. (673): 012120. pp.1-7.

Reihanian, M. Hadadian, F.K. and Paydar, M.H. 2014. Fabrication of Al–2 vol% Al₂O₃/SiC Hybrid Composite Via Accumulative Roll Bonding (ARB): An investigation of The Microstructure and Mechanical Properties. *Materials Science & Engineering A*: 188-196.

Saito, Y. Tsuji, N. Utsunomiya, H. Sakai, T. and Hong, R.G. 1998. Ultrafined Grained Bulk Aluminium Produced by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process. *Scripta Materialias*. Vol. (39): 9. pp.1221-1227.

Sanusi, K.O. and Akinlabi, E. T. 2017. Accumulative Roll Bonding (ARB) Process for Effectivity Biomedical NiTi Alloys. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Vol. (3):71299. pp.1-5.

Surojo, E., Ariawan, D., & Prabowo, A. R. 2020. Experimental study of quenching agents on Al6061–Al2O3 composite: Effects of quenching treatment to microstructure and hardness characteristics. *Results in Engineering*, 6.

Swamardika, I. B. A. 2009. Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia (Suatu Kajian Pustaka). In *Pengaruh Radiasi Gelombang ... I.B. Alit Swamardika Teknologi Elektro* (Vol. 8).

Tsuji N, Ito Y, and Minamino Y. 2002. Strength and Ductility of Ultrafine Grained Aluminum and Iron Produced by ARB and Annealing. *Scripta Materialia*. Vol.(47):1359-6462. pp.893-899.

Tsuji, N. Saito, Y. Lee, S.H. and Minamino, Y. 2003. ARB (Accumulative Roll-Bonding) and Other New Techniques to Produce Bulk Ultrafine Grained Materials. *Advanced Engineering Materials*. Vol.(5): 5. pp. 338-344.

Veena, P. Maheswari, Y. and Kumar, N. 2017. A Critical Review on Server Plastic Deformation. *IJS RSET*. Vol.03. pp.336-343.

Venkateswarlu, D., Cheepu, M., Rao, P. N., Kumaran, S. S., & Srinivasan, N. 2019. Characterization of microstructure and mechanical properties of aa2219-o and t6 friction stir welds. *Materials Science Forum*, 969 MSF, 205–210.

Wijaya, N. H., Kartika, W., & Utari, A. R. D. 2019. Deteksi Radiasi Gelombang Elektromagnetik Dari Peralatan Medis dan Elektronik di Rumah Sakit. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 6(2), 102–106.

Wiyono, S. Irmansyah, M. Pramono, A. dan Milandia, A. 2018. Sintesa Awal Karakterisasi Mekanika Komposit Aluminium Untuk Aplikasi Peralatan Militer Dengan Metode Cross Section Accumulative Roll Bonding. *Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA*. Vol.(4): 2. pp.74-78

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

LAMPIRAN A. CONTOH PERHITUNGAN

1. Menghitung Massa Al_2O_3 *Nanofibers* yang Dibutuhkan.

Diketahui: Panjang x Lebar x Tinggi Matriks = $40 \times 5 \times 0,6 \text{ cm}$

Densitas Al_2O_3 *Nanofibers* = $3,98 \text{ gr/cm}^3$

Persen Volume yang Digunakan = $0,4\%v$

Penyelesaian: Volume matriks = $40 \times 5 \times 0,6 \text{ cm} = 120 \text{ cm}^3$

$$0,4\% v = 0,004 \times 120 \text{ cm}^3 = 0,48 \text{ cm}^3$$

Massa Al_2O_3 *Nanofibers* = $0,48 \text{ cm}^3 \times 3,98 \text{ gr/cm}^3$

$$= 1,91 \text{ gr} \approx 2 \text{ gr}$$

2. Menghitung *Rule of Mixture* Komposit AA1070 dengan Penguat Al_2O_3 *Nanofibers* dan Tanpa Penguat.

Diketahui: Volume Matriks = $40 \times 5 \times 0,6 \text{ cm} = 120 \text{ cm}^3$

Volume Pelat = $120 - 0,48 \text{ cm}^3 = 119,52/2 = 59,76 \text{ cm}^3$

Fraksi Volume Matriks = $59,76 \text{ cm}^3 / 120 \text{ cm}^3 = 0,498$

Fraksi Volume Fibers = $0,48 \text{ cm}^3 / 120 \text{ cm}^3 = 0,004$

Nilai *Tensile Strength*: Al_2O_3 *Nanofibers* = 12000 MPa

$$\text{AA1070} = 73 \text{ MPa}$$

Nilai Kekerasan: Al_2O_3 *Nanofibers* = min. 967 HV dan maks.

$$1127 \text{ HV}$$

$$\text{AA1070} = 20 \text{ HV}$$

Penyelesaian:

a) Nilai *Tensile Strength* pada Komposit AA1070 Penguat Al_2O_3 *Nanofibers*.

$$\begin{aligned}\sigma_c &= V_{\text{Alumina}} \sigma_{\text{Alumina}} + 2 (V_{\text{AA1070}} \sigma_{\text{AA1070}}) \\ &= (0,004 \times 12000 \text{ MPa}) + 2 (0,498 \times 73 \text{ MPa}) \\ &= 48 \text{ MPa} + 72,708 \text{ MPa} \\ &= 120,708 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b) Nilai *Tensile Strength* pada Komposit AA1070 Tanpa Penguat.

$$\begin{aligned}\sigma_c &= 2 (V_{\text{AA1070}} \sigma_{\text{AA1070}}) \\ &= 2 (0,498 \times 73 \text{ MPa}) \\ &= 72,708 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c) Nilai Kekerasan pada Komposit AA1070 Penguat Al_2O_3 *Nanofibers*.

$$\begin{aligned}H_{c \text{ min}} &= V_{\text{Alumina}} H_{\text{Alumina}} + 2 (V_{\text{AA1070}} H_{\text{AA1070}}) \\ &= (0,004 \times 967 \text{ HV}) + 2 (0,498 \times 20 \text{ HV}) \\ &= 3,868 \text{ HV} + 19,92 \text{ HV} \\ &= 23,79 \text{ HV}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_{c \text{ maks}} &= V_{\text{Alumina}} H_{\text{Alumina}} + 2 (V_{\text{AA1070}} H_{\text{AA1070}}) \\ &= (0,004 \times 1127 \text{ HV}) + 2 (0,498 \times 20 \text{ HV}) \\ &= 4,508 \text{ HV} + 19,92 \text{ HV} \\ &= 24,43 \text{ HV}\end{aligned}$$

d) Nilai Kekerasan pada Komposit AA1070 Tanpa Penguat.

$$\begin{aligned}H_c &= 2 (V_{\text{AA1070}} H_{\text{AA1070}}) \\ &= 2 (0,498 \times 20 \text{ HV})\end{aligned}$$

$$= 19,92 \text{ HV}$$

3. Menghitung Nilai Densitas Komposit AA1070 Penguat Al_2O_3 *Nanofibers*.

Diketahui: Massa = 359,90 gr

$$\text{Volume (p x l x t)} = 64 \times 5,1 \times 0,4 \text{ cm} = 130,56 \text{ cm}^3$$

Penyelesaian: "*Densitas* = " "*Massa*" $\frac{\text{Volume}}$ "

$$"*Densitas* = " "*359,90 gr*" $\frac{\text{cm}^3}{130,56}$ "$$

$$\text{Densitas} = 2,75 \text{ gr/cm}^3$$

4. Menghitung Persen Elongasi pada Komposit AA1070 Penguat Penguat Al_2O_3 *Nanofibers* dengan Temperatur 350°C .

Diketahui: Panjang awal (L_0) = 25 mm

$$\text{Panjang akhir (} L_1 \text{)} = 28,75 \text{ mm}$$

Penyelesaian: "%*Elongasi* = " " $L_0 - L_1$ " $\frac{L_0}{L_0}$ " "x 100%"

$$"%*Elongasi* = " " $25 - 28,75$ " $\frac{25}{25}$ " "x 100% = 15%"$$

5. Menghitung Nilai Kekerasan Vickers Rata-Rata (ΣHV) Komposit AA1070 Penguat Al_2O_3 *Nanofibers*.

Diketahui: Kekerasan Vickers (HV_1) = 24,8

Kekerasan Vickers (HV_2) = 25,3

Kekerasan Vickers (HV_3) = 25,6

Kekerasan Vickers (HV_4) = 23,5

Kekerasan Vickers (HV_5) = 26,7

Penyelesaian: " $\sum HV \frac{1}{5}$ "

$$= "(24,8 + 25,3 + 25,6 + 23,5 + 26,7) \frac{1}{5}"$$

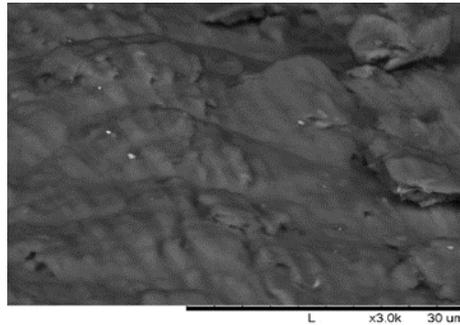
$$= 25,18 \text{ HV}$$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

LAMPIRAN B. DATA HASIL PENELITIAN

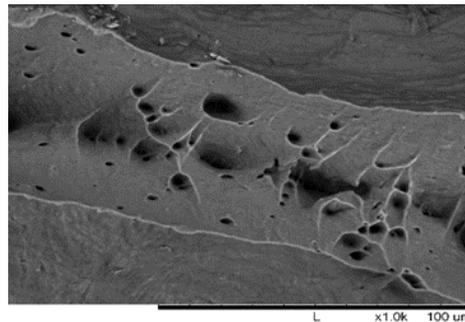
1. Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

a. Al no Reinforced Hot



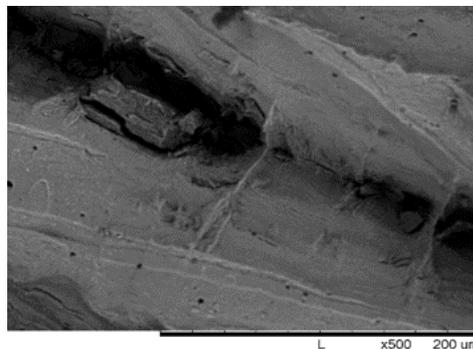
Gambar B.1 Hasil SEM Sampel Al no Reinforced Hot

b. Al no Reinforced Cold



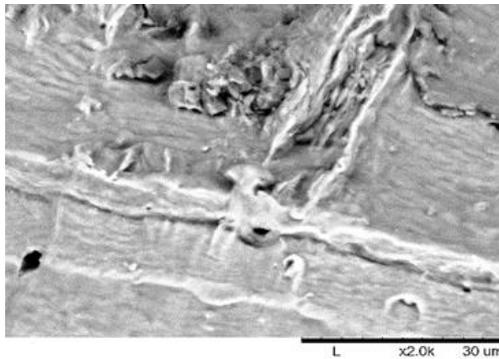
Gambar B.2 Hasil SEM Sampel Al no Reinforced Cold

c. Al + ANF Hot



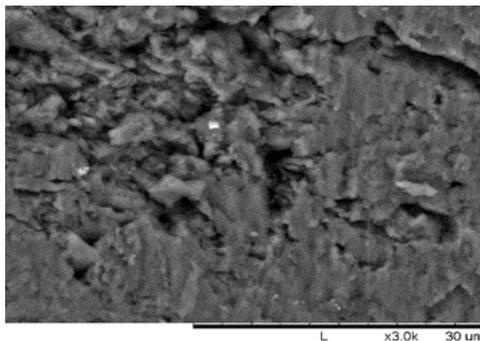
Gambar B.3 Hasil SEM Sampel Al + ANF Hot

d. **Al + ANF Cold**



Gambar B.4 Hasil SEM Sampel Al + ANF Cold

e. **Al + Al Powder + ANF Cold**



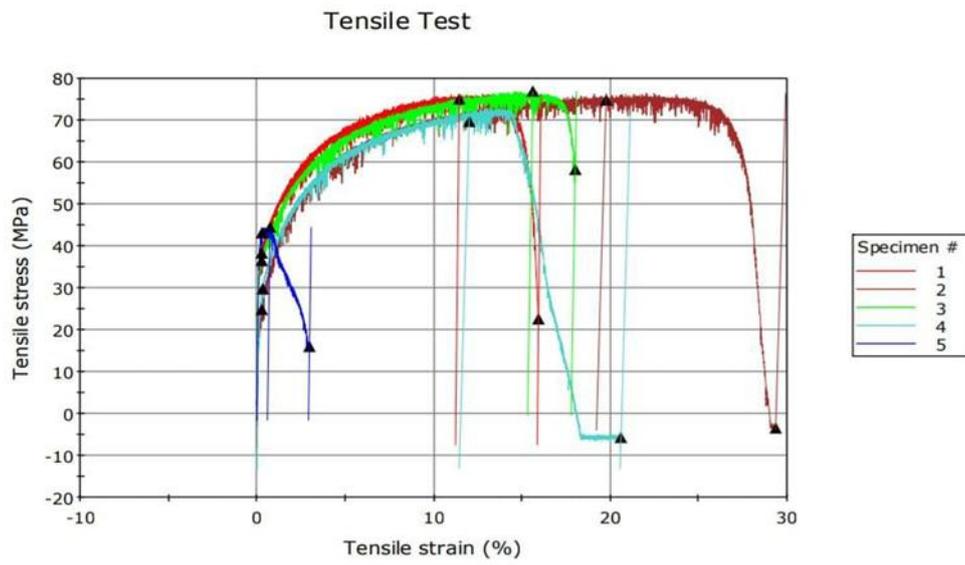
Gambar B.5 Hasil SEM Sampel Al + Al Powder + ANF

2. Hasil Pengujian Densitas

Tabel B.1 Data Hasil Uji Densitas

Kode Sampel	Densitas (gr/cm ³)			Rata -Rata Densitas
Al no Reinforced Hot	2,725	2,752	2,823	2,7385
Al no Reinforced Cold	2,786	2,783	2,793	2,787333333
Al + ANF Hot	2,784	2,714	2,766	2,754666667
Al + ANF Cold	2,727	2,718	2,766	2,737
Al/Al Powder + ANF Cold	2,282	2,409	2,281	2,324

3. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik



Gambar B.6 Grafik Hasil Uji Tarik

4. Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel B.2 Data Hasil Uji Keras

Kode Sampel	HARDNESS (HV)					RATA-RATA HARDNESS
Al no Reinforced Hot	26,3	23,7	24,3			24,76666667
Al no Reinforced Cold	24,8	25,3	25,6	23,5	26,7	25,18
Al + ANF Hot	21,6	22,1	23,8	25,6	21,7	22,96
Al + ANF Cold	26,5	25,2	24,5	26,9	23,8	25,38
Al/Al Powder + ANF Cold	28	27,1	26,2	24,3	21,9	25,5

5. Hasil Pengujian Radiasi

Tabel B.3 Data Hasil Uji Radiasi

PENGUJIAN RADIASI				
SAMPEL	TANPA TELPON		DENGAN TELPON	
	Tanpa Peredam	Dengan Peredam	Tanpa Peredam	Dengan Peredam
Al no Reinforced Hot	15,54	0,6	61,86	1,72
Al no Reinforced Cold	16,39	1,31	26,6	3,56
Al + ANF Hot	15,5	0,55	58,2	0,22
Al + ANF Cold	17,13	1,74	27	2,41
Al + Al Powder + ANF	16,49	2,06	59,53	3,3

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

LAMPIRAN C. Gambar Alat dan Bahan



Gambar C.1 Jangka Sorong



Gambar C.2 Penggaris



Gambar C.3 Penjepit



Gambar C.4 Sikat Kawat



Gambar C.5 Gergaji Besi



Gambar C.6 Ragum



Gambar C.7 Gerinda Tangan



Gambar C.8 Sarung Tangan



Gambar C.9 Muffle Furnace



Gambar C.10 Mesin Rolling



Gambar C.11 Mesin Uji SEM



Gambar C.12 Mesin Uji Kekerasan



Gambar C.13 Mesin Uji Tarik



Gambar C.14 Mesin Bor



Gambar C.15 Kawat



Gambar C.16 Aceton



Gambar C.17 Aluminium



Gambar C.18 Amplas



Gambar C.19 Al₂O₃ Nanofibers