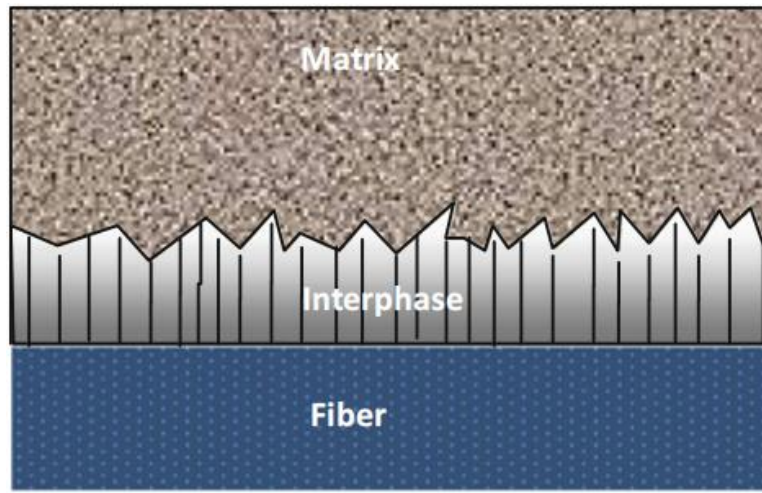


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit Matriks Logam

Komposit merupakan gabungan dua atau lebih material yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang berbeda, yang kemudian terbentuk menjadi bentuk kompleks baik dalam skala mikro, meso, dan makro. Dimana biasanya komposit dibuat dari perpaduan antara material logam, keramik, dan polimer [5] Perbedaan penggunaan material unsur penyusun menimbulkan beberapa daerah diantaranya, matriks (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), *interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (batas antarmuka) [1]. Komposit matriks logam merupakan salah satu jenis komposit berdasarkan jenis matriks yang digunakan, yang menggunakan logam atau paduannya sebagai penyusun dengan fraksi volume terbesar, yang dipadukan dengan bahan pengisi tertentu guna menciptakan sifat mekanik yang diharapkan, dengan tercapainya *interfacial bonding* antara matriks dan penguatnya, merupakan salah satu syarat dari keberhasilan dalam proses manufaktur komposit [6]. Untuk skema struktur dari material komposit secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Struktur Komposit Al_2O_3 [5].

Proses manufaktur komposit memiliki beberapa permasalahan, khususnya permasalahan pada komposit matriks logam dengan penguat berbahan keramik, yang memiliki interaksi antarmuka yang kurang baik, sehingga *interfacial bonding* yang dihasilkan rendah, hal ini terjadi karena ikatan antara matriks dan penguat memiliki kemampubasahan (*wettability*) yang rendah. *Interfacial bonding* atau ikatan antarmuka, merupakan salah satu syarat keberhasilan manufaktur komposit, sehingga memegang peranan penting guna menentukan kualitas komposit yang dihasilkan. Karena pada daerah antarmuka ini terjadi perubahan sifat dari matriks ke penguat atau terdapat ketidak-kontiyuan sifat kimia, struktur kristal atau molekular, sifat mekanik dan lainnya. Komposit matrik logam yang sangat populer dan banyak dilakukan penelitian saat ini adalah dengan matrik aluminium dan paduannya dengan penguatnya berupa keramik. Aluminium banyak digunakan sebagai bahan matriks karena beberapa

sifatnya yang lebih memiliki keunggulan dari logam lainnya, seperti densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, dan ekspansi termal yang rendah. Aplikasinya sendiri sering digunakan pada kemiliteran dan penerbangan, karena sifat komposit yang dihasilkan lebih ringan, dengan sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, tahan korosi, tahan aus) yang tinggi [7].

Komposit *sandwich* adalah jenis material komposit yang terdiri dari dua lapisan material yang lebih kuat yang disatukan oleh lapisan material ringan di antara keduanya. Dalam struktur komposit sandwich, lapisan material yang lebih kuat disebut sebagai "lapisan wajah" (*face sheet*), sementara lapisan material ringan di antara keduanya disebut sebagai "inti" (*core*). Inti komposit *sandwich* biasanya terbuat dari bahan berpori atau berstruktur seperti busa, honeycomb (madu lebah), atau bahan laminasi yang ringan namun memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Lapisan wajah pada komposit sandwich umumnya terbuat dari serat komposit seperti serat karbon, serat kaca, atau serat aramid, yang memberikan kekuatan dan kekakuan struktural pada material [6]

Kombinasi antara lapisan wajah yang kaku dan kuat dengan inti yang ringan dan kuat secara struktural menghasilkan material yang memiliki berbagai keunggulan. Beberapa keuntungan dari komposit *sandwich* termasuk kekuatan dan kekakuan yang tinggi, kekuatan tarik dan tekan yang seimbang, bobot yang rendah, ketahanan terhadap korosi, isolasi termal dan listrik yang baik, serta kemampuan untuk menyerap energi dan getaran. Komposit sandwich banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti industri penerbangan, otomotif, kelautan, dan konstruksi. Mereka dapat digunakan

untuk membuat struktur yang ringan namun kuat seperti sayap pesawat, panel bodi mobil, dan kapal.

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam dengan bilangan atom 13 dan masa atom relatif 27. Aluminium merupakan logam yang paling melimpah ketiga di bumi dengan jumlah 8%. Aluminium merupakan jenis logam dengan densitas rendah ($2,7 \text{ g/cm}^3$) yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan konduktivitas termal dan listrik yang cukup tinggi. Sehingga belum dikategorikan sebagai logam berat. Kekuatan mekanik pada aluminium meningkat seiring ditambahkan paduan unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb. Sifat mekanik yang meningkat dari paduan aluminium yang dihasilkan berupa ketahanan korosi, ketahanan aus, ekspansi termal rendah, dan lain sebagainya. Aluminium dan paduannya memiliki nilai ekonomis yang tinggi karena dapat digunakan pada berbagai aspek seperti di bidang otomotif, militer, konstruksi, peralatan penutup makanan, peralatan masak, dan lainnya [8], beberapa jenis paduan aluminium berdasarkan standar ASM dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Aluminium dan Paduan Utamanya [8].

Standar ASM	Keterangan
1xxx	Al murni 99% atau di atasnya
2xxx	Cu merupakan unsur paduan utama
3xxx	Mn merupakan unsur paduan utama
4xxx	Si merupakan unsur paduan utama
5xxx	Mg merupakan unsur paduan utama
6xxx	Mg dan Si merupakan unsur paduan utama
7xxx	Zn merupakan unsur paduan utama
8xxx	Elemen lain sebagai unsur paduan utama

Jenis aluminium yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan aluminium seri tujuh, lebih tepatnya adalah aluminium 7075 dengan komposisi kimia (dalam persen berat) yang dapat dilihat berikut ini pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Aluminium 7075 [8].

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	Ti
87,3-	0,4	0,5	1,2-	0,3	2,1-	0,18-	-	5,1-	-	-	0,2
90			2		2,9	0,28		6,1			

Aluminium seri 7075 secara umum memiliki kegunaan di bidang ke-

dirgantaraan, konstruksi, *frame* sepeda, dan lain-lain. Dikarenakan nilai kekuatannya yang tinggi, laju korosi rendah, koefisien ekspansi yang rendah, namun memiliki densitas yang ringan. Aluminium seri 7075 merupakan tipe aluminium yang dapat dilakukan *heat-treatment* guna meningkatkan nilai sifat mekanis dari aluminium tersebut. Untuk nilai sifat mekanik dari aluminium 7075, dapat dilihat pada Tabel 2.3 [8]. Tujuan dilakukannya manufaktur komposit berbasis aluminium 7075 ini, berguna untuk meningkatkan nilai sifat mekanik hingga batas sifat mekanik dari *armour steel* untuk kendaraan panser atau tank.

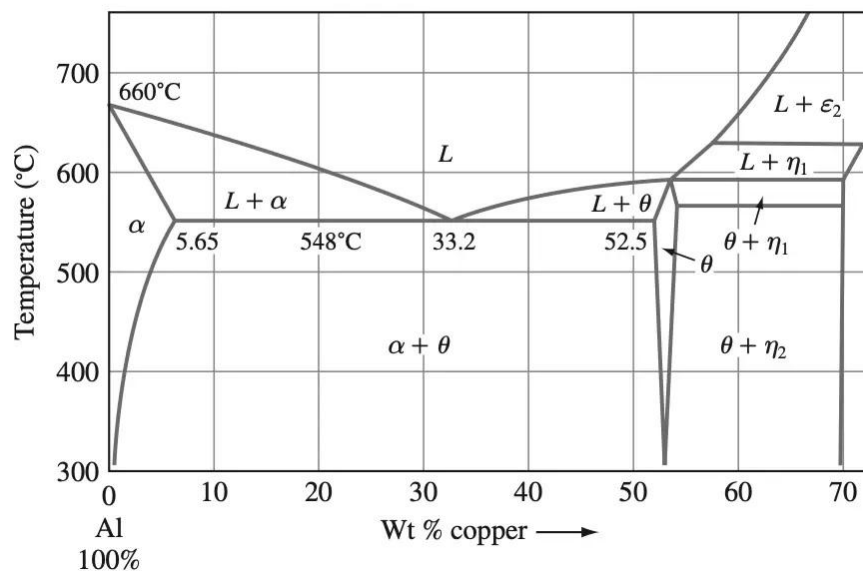
Tabel 2.3 Nilai Sifat Mekanik Aluminium AA 7075 [8].

Seri Aluminium	Densitas (g/cm ³)	Titik Leleh (°C)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Luluh (MPa)	Kekerasan (HV)	Elongasi (%)
AA 7075-O	2,81	477- 635	220	103	60	10

2.3 *Annealing*

Dalam proses perlakuan panas terdapat proses *Annealing* atau yang sering disebut juga sebagai proses pemanasan dengan laju pendinginan yang relatif lambat. *Annealing* merupakan salah satu metode perlakuan panas selain *Normalizing* (pendinginan dengan suhu ruang atau laju pendinginan normal) dan *Quenching*

(pendinginan dengan media fluida berupa air dan minyak atau laju pendinginan yang cepat), untuk memperoleh sifat mekanik logam tertentu. *Annealing* merupakan proses pemanasan suatu logam atau paduannya hingga suhu tertentu, lalu dilakukan penahanan selama waktu yang ditentukan, setelah itu dilakukan pendinginan secara perlahan (di dalam tungku) [9]. Fungsi dari dilakukannya proses *annealing* adalah untuk menghomogenisasi spesimen, karena kita tidak mengetahui spesimen yang kita pakai, telah mengalami proses apa sebelumnya, selain itu proses ini bertujuan untuk menghilangkan *internal stress* yang terdapat didalam logam, dan juga meningkatkan keuletan dari logam [9]. Untuk temperatur *annealing* setiap logam berbeda-beda tergantung paduan yang ada didalamnya dan temperatur rekristalisasi logam yang diprosesnya. Untuk paduan aluminium sendiri memiliki kisaran temperatur *annealing* sekitar 290 °C hingga 420 °C. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram biner aluminium dengan paduannya, berikut ini pada Gambar 2.2 [8].



Gambar 2.2 Diagram Biner Aluminium [8].

2.4 Severe Plastic Deformation (SPD)

Teknologi SPD (*Severe Plastic Deformation*) atau deformasi plastis menyeluruh merupakan proses manufaktur logam baik *bottom up* (metalurgi serbuk) ataupun *top down* (lembaran logam) dengan memberikan tegangan plastis yang sangat tinggi untuk menghasilkan butiran yang sangat halus (*Ultrafine Grained*). *Ultra Fine Grain sendiri* adalah istilah yang digunakan dalam konteks metode *Severe Plastic Deformation* (SPD) untuk menggambarkan struktur mikro yang terbentuk setelah perlakuan deformasi plastik yang ekstrim pada material. Metode SPD adalah suatu teknik yang digunakan untuk menghasilkan butiran butir yang sangat kecil atau ultrafine pada material logam. Proses deformasi plastik yang sangat ekstrim dalam metode SPD menyebabkan pergerakan butir butir material secara intensif, memicu rotasi, deformasi, dan rekristalisasi butiran-butiran tersebut. Akibatnya, struktur mikro material mengalami pemadatan dan pemulihan butiran yang lebih kecil dan lebih seragam. Hasilnya adalah material dengan ukuran butiran yang sangat halus, biasanya dengan ukuran butiran di kisaran mikrometer hingga sub-mikrometer.

Perkembangan teknologi SPD ini masih sebatas dalam penelitian dan juga pengembangan berkelanjutan untuk menghasilkan material dengan kekuatan dan ketangguhan yang sama tinggi. Teknologi SPD memiliki beberapa metode diantara lain, untuk metode *bottom up* dari bahan berbentuk serbuk terdapat metode *high pressure test* (HPT), *equal channel angular pressing* (ECAP), *dual equal channel lateral extrusion* (DECLE), *multiple direct extrusion*, dan lain-lain. Sedangkan pada

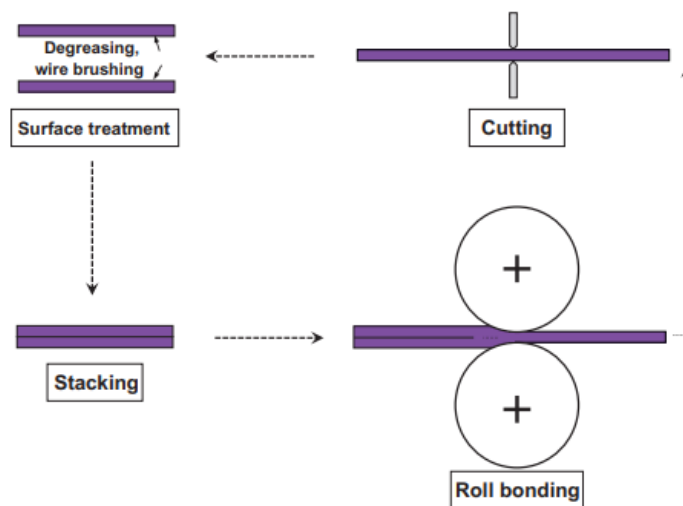
metode *top down* dengan bahan berbentuk lembaran terdapat metode *accumulative roll bonding* (ARB), *cone-cone method* (CCM), *costrained groove pressing* (CGP), dan lain-lain [23]. Namun metode yang paling populer dikembangkan dalam penelitian untuk saat ini antara lain, HPT, ECAP, dan ARB.

Berbagai proses SPD telah banyak dikembangkan di dalam proses pembentukan logam seperti *equal channel angular pressing* (ECAP), *accumulative roll-bonding* (ARB), *high pressure torsion* (HPT), *repetitive corrugation and straightening* (RCS), *cyclic extrusion compression* (CEC), *torsion extrusion*, *severe torsion straining* (STS), *cyclic closed-die forging* (CCDF), *super short multi-pass rolling* (SSMR), *twist extrusion* (TE). Logam dengan ukuran butir *ultra-fine grained* yang dihasilkan melalui proses SPD menunjukkan kekuatan yang tinggi. Tegangan luluh (yield) logam polycrystalline σ_Y , berhubungan erat dengan diameter butir d , sebagaimana rumusan yang dibuat oleh Hall–Petch yaitu: $\sqrt{1}$ dengan σ_0 adalah tegangan gesek dan k adalah konstanta. Persamaan (1) menunjukkan bahwa tegangan luluh meningkat dengan semakin kecil akar dari ukuran butir ($d^{1/2}$). Ukuran butir yang semakin kecil menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi tanpa mengurangi ketangguhan, yang berbeda dengan metode penguatan lain seperti pada proses perlakuan panas [10].

2.4.1 Accumulative Roll Bonding (ARB)

ARB merupakan salah satu metode SPD yang dikembangkan oleh Saito dan kawan-kawan, yang dimana prosesnya menggunakan metode konvensional *rolling* setelah dilakukannya *stacking* antara dua atau lebih matriks logam lembaran [11]. Pada proses manufaktur komposit, disisipkan unsur penguat

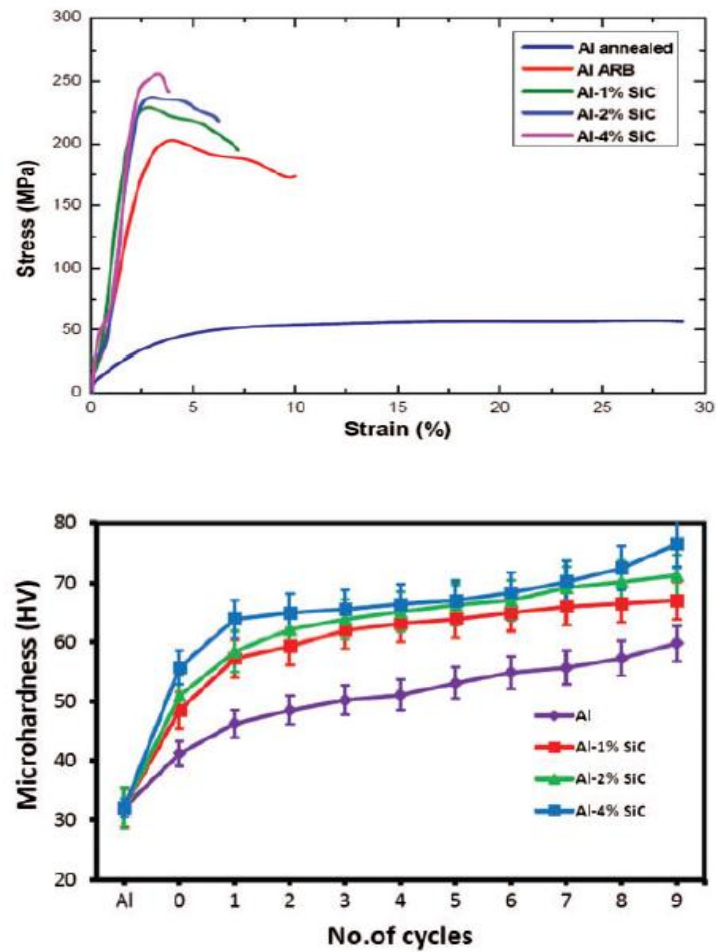
diantara lembaran yang akan di *stacking*. Tahap proses ARB yaitu, antarmuka dari dua lembar permukaan logam dibersihkan dengan cairan aseton agar terjadinya ikatan antarmuka yang baik. Kemudian dilakukan pengerollan untuk digabungkan, dengan roll konvensional, kemudian, lembaran akan bertambah panjang kemudian lembar dipotong menjadi dua bagian kembali, kemudian lembaran yang telah dipotong ditumpuk dan dilakukan proses ARB kembali, prosedur ini dapat diulang tanpa batas, sehingga terbentuk regangan plastis yang sangat tinggi pada lembaran [12]. Metode ini dapat meningkatkan nilai mekanik dari suatu material karena terdapat beberapa mekanisme penguatan didalam prosesnya, antara lain *strain hardening* dan efek dari ukuran butir yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya, ilustrasi dari proses ARB dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.3 Skema Ilustrasi Proses ARB [11].

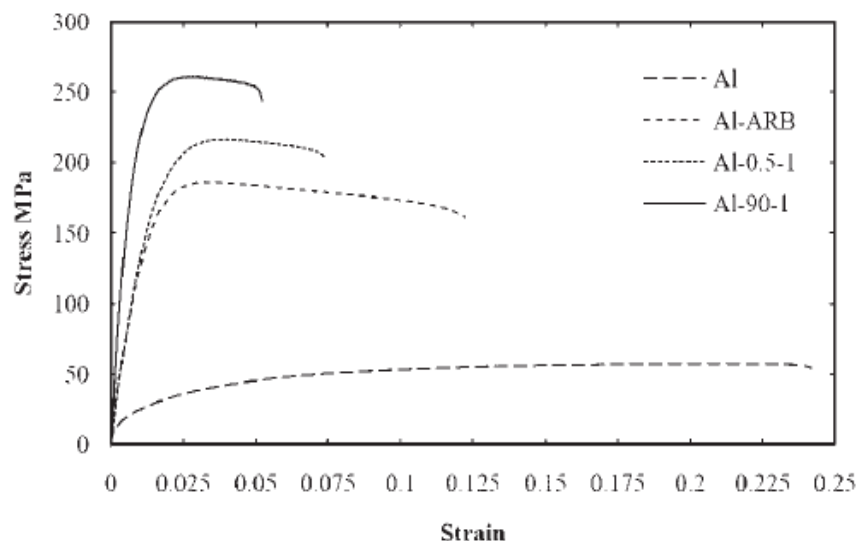
Metode ARB merupakan proses yang sangat sederhana namun memiliki

kemampuan untuk menghasilkan UFG (*ultra fined grain*) tanpa mengubah dimensi spesimen sehingga menjadi proses industri yang sangat potensial. Potensi ini yang menyebabkan banyaknya riset yang dilakukan untuk meneliti mengenai ARB. Diantaranya riset mengenai penambahan penguat berupa SiC terhadap sifat mekanik Al-1050 dengan metode ARB, mendapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya persen berat SiC yang ditambahkan maka sifat mekanik akan semakin meningkat [12]. Yang grafiknya ditunjukkan pada Gambar 2.6.

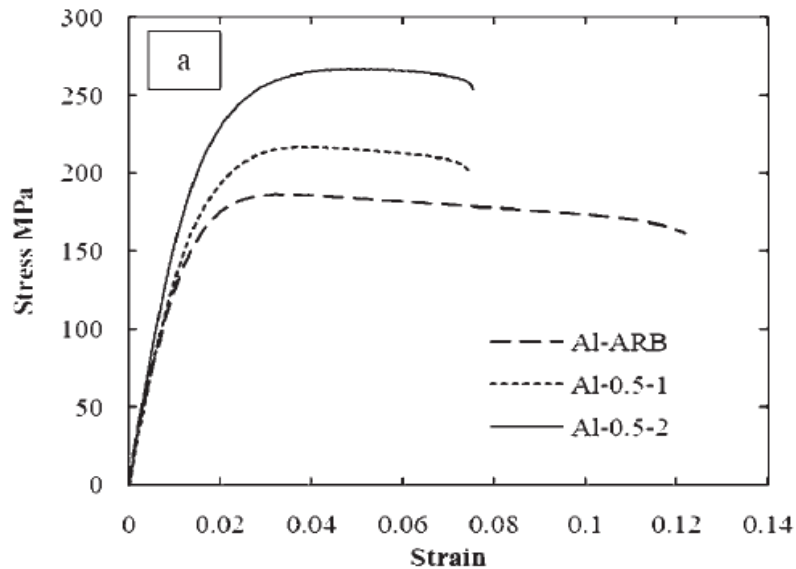


Gambar 2.4 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Al-SiC [12].

Riset lainnya mengenai manufaktur komposit matriks aluminium dengan *reinforce* berupa serbuk Al_2O_3 dengan variasi komposisi dan ukuran 90 nm; 0,5 nm menggunakan metode ARB diperoleh hasil bahwa, semakin banyak komposisi dan kecil ukuran partikel penguat, maka kuat tarik pada komposit aluminium akan semakin meningkat [4]. Hasil dari riset ini dapat dilihat pada grafik pada Gambar 2.7. Hasil yang diperoleh dari masing-masing *reinforce* (Al_2O_3 dan SiC) memiliki hasil yang berbeda terhadap sifat mekanik yang dihasilkan, untuk Al_2O_3 lebih cenderung meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus, sedangkan SiC lebih cenderung meningkatkan nilai kekuatan dan ketahanan aus [5], maka dari itu pada penelitian kali ini, digunakan campuran keduanya (*hybrid*) yang bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik gabungan dari kedua *reinforcement* yang dipakai.



Gambar 2.5 Perbandingan *Reinforced* Terhadap Sifat Mekanik [4]



Gambar 2.6 Hasil Uji Tarik Al-Al₂O₃ [4]

Namun pada riset lainnya, menunjukkan dengan penggunaan aluminium AA 7075 dengan *reinforce* berupa Al₂O₃ *nanofiber*, dilakukan perbandingan sifat mekanik yang dihasilkan antara aluminium yang dilakukan proses ARB tanpa adanya *reinforce*, dibandingkan dengan aluminium yang dilakukan proses ARB dengan ditambahkan *reinforce*, hasilnya menunjukkan nilai kekerasan yang menurun pada komposit aluminium yang ditambahkan *reinforce*, namun memiliki ukuran butir yang lebih halus [3]. Hasil dari riset ini dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Sifat Aluminium AA 7075/ANF Proses ARB [3]

Jenis Material	Kekerasan (HV)	Densitas (gr/mm ²)	Ukuran Butir (μ m)
AA 7075 tanpa ANF	128,3 $\pm$ 4,4	2,81 $\pm$ 0,014	1,4
AA 7075 + ANF	103,2 $\pm$ 2,7	2,793 $\pm$ 0,003	1,3

2.5 Pengujian Merusak

Pengujian material adalah serangkaian ujicoba yang sudah dikondisikan pada suatu material. Tujuan dilakukanya pengujian ini antara lain untuk mendapatkan data mengenai material tersebut. Data tersebut bisa berupa modulus young, tingkat porositas, kekerasan, dan juga berbagai macam jenis cacat dan deformasi mikro maupun makro. Material yang diuji tentunya harus melewati tahapan dan prosedur yang sesuai dengan jenis pengujiannya. Pengujian material secara mendasar terdiri dari dua jenis, yaitu pengujian merusak (*destruction test*) dan pengujian tidak merusak (*non-destruction test*).

Pengujian merusak yang dimaksud adalah pengujian yang mengambil dan mengubah bentuk material uji secara permanen. Sementara pengujian tidak merusak adalah pengujian yang dilakukan tanpa merusak dan mengubah bentuk dan fungsi sedikitpun dari material tersebut. Secara mendasar pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dan menganalisa karakteristik dan struktur serta sifat dari material ini.



Gambar 2.7 Alat-Alat Untuk Pengujian Tidak Merusak

Pengujian tidak merusak terdiri dari pengujian kekerasan, dimana material hanya diletakan dan ditekan oleh indenter. Nantinya hasil tekan tersebut akan digunakan untuk perhitungan dari hasil kekerasannya. Pengujian Ultrasonik merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui keberadaan porositas pada suatu material. Pengujian dengan cairan penetrant juga merupakan salah satu dari jenis pengujian tidak merusak. pengujian ini menggunakan 3 jenis cairan, yaitu cairan pembersih untuk membersihkan permukaan, penetrant sebagai penanda, dan juga developer sebagai pemberi tanda pada keretakan. Proses ini umum dilakukan pada pengelasan. Kemudian terdapat pengamatan langsung, dimana proses ini hanya mengamati material secara visual dan kontinyu.

Pada proses penelitian ini, jenis tes tidak merusak yang akan dilakukan adalah test kekerasan, dan pengamatan visual.



Gambar 2.8 Alat-Alat Untuk Pengujian Merusak

Pengujian merusak yang terdiri dari pengujian tarik, dimana material akan dibentuk dengan bentuk sesuai dengan ISO 6892-1 dan ASTM E8, kemudian material akan ditarik hingga terputus. Kemudian untuk pengujian puntir, material akan diletakkan pada mesin pemuntir yang kemudian akan diberikan gaya puntir. Adapun pengamatan metalografi, termasuk dalam pengujian merusak karena spesimen harus diambil dan dipotong menjadi bagian kecil dan kemudian akan diberikan bingkai/*Mounting* agar mudah dipegang saat pengamplasan dan pemolesan permukaan yang akan diamati dibawah mikroskop. Tujuan dari pengamatan metalografi adalah untuk mengamati struktur mikro, batas butir, dan bentuk fasa pada material logam [13].

2.6 Pengamatan Metalografi

Metalografi adalah perpaduan ilmu dan seni yang mempelajari dan mengamati struktur mikroskopis logam dan paduan menggunakan mikroskop optik, mikroskop elektron, ataupun jenis mikroskop lainnya. Kinerja dan sifat material terutama sifat

mekanik logam ditentukan oleh struktur mikro, dengan menganalisis struktur mikro material maka kinerja dan keandalan saat digunakan dapat dipahami dengan lebih baik. Selain material logam teknik metalografi ini dapat digunakan pada material non logam lainnya untuk mengamati strukturnya



Gambar 2.9 Alat dan Bahan Yang Dibutuhkan Dalam Proses Metalografi

Prinsip dasar metalografi pertama kali disusun oleh *Henry Clifton Sorby* (1826–1908). Metalografi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu makrografi dan mikrografi. Penerapan praktis dari metalografi adalah untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, dan keberadaan kotoran dalam suatu logam. Penentuan spesifikasi yang diperlukan dalam suatu material mengacu kepada hasil metalografi yang menjelaskan tentang proses yang sudah dialami oleh material yang bersangkutan. Hasil pengamatan metalografi dipengaruhi oleh persiapan permukaan spesimen yang akan diamati [14].

Secara mendasar, teknik metalografi dilakukan dengan memahami lima prosedur utama yang terdiri dari pengambilan logam yang ingin di uji, pembersihan (*mounting*), pengamplasan, pemolesan, pengetsaan, dan pengamatan di bawah mikroskop. Pengambilan logam yang ingin di uji bisa langsung diambil atau

dipisahkan. Namun untuk beberapa kasus pemotongan dengan mesin potong harus dilakukan dengan cara dingin agar dapat material yang tidak mengalami perubahan fasa. Cara dingin ini dilakukan dengan menggunakan air mengalir saat memotong material. Sementara itu proses pembersihan dilakukan dengan menggunakan resin sebagai pemegang sampel yang akan di uji agar lebih mudah di pegang saat pengamatan dan pengamplasan. Jenis resin tidak akan berpengaruh pada hasil metalografi, karena fungsi pembersihan hanya dilakukan untuk mempermudah mengamati dan memindahkan sampel yang diamati. Proses pengamplasan dilakukan dengan menggunakan amplas secara bertahap mulai dari 80 mesh hingga mencapai 1400 mesh. Hal ini dilakukan agar didapatnya material yang rata dengan hasil yang maksimal.

Pemolesan dilakukan untuk mempermudah mengamati batas butir, dilakukan dengan menggunakan pasta alumina. Kemudian proses pengetsaan dilakukan tergantung jenis material terutama logam yang diamati. Jika logam seperti besi cukup dengan larutan nital 3%, jika merupakan logam aluminium dapat menggunakan NaOH [15]. Setiap logam yang dilakukan proses pengetsaan harus memiliki jenis etsa yang cocok digunakan sesuai dengan jenis logam. Tujuan dari pengetsaan adalah agar mendapatkan korosi selektif pada pinggir batas butir agar dapat memperjelas bentuk batas butir sehingga mempermudah proses pengamatan. Proses pengamatan di bawah mikroskop adalah tahap terakhir, dimana Gambar diambil dan juga dianalisa setelah ini. Proses ini tentunya memiliki standar, standar yang mengatur proses dari metalografi sendiri adalah standar ASTM E3 [13]. Berikut ini pada Gambar 2.15 adalah

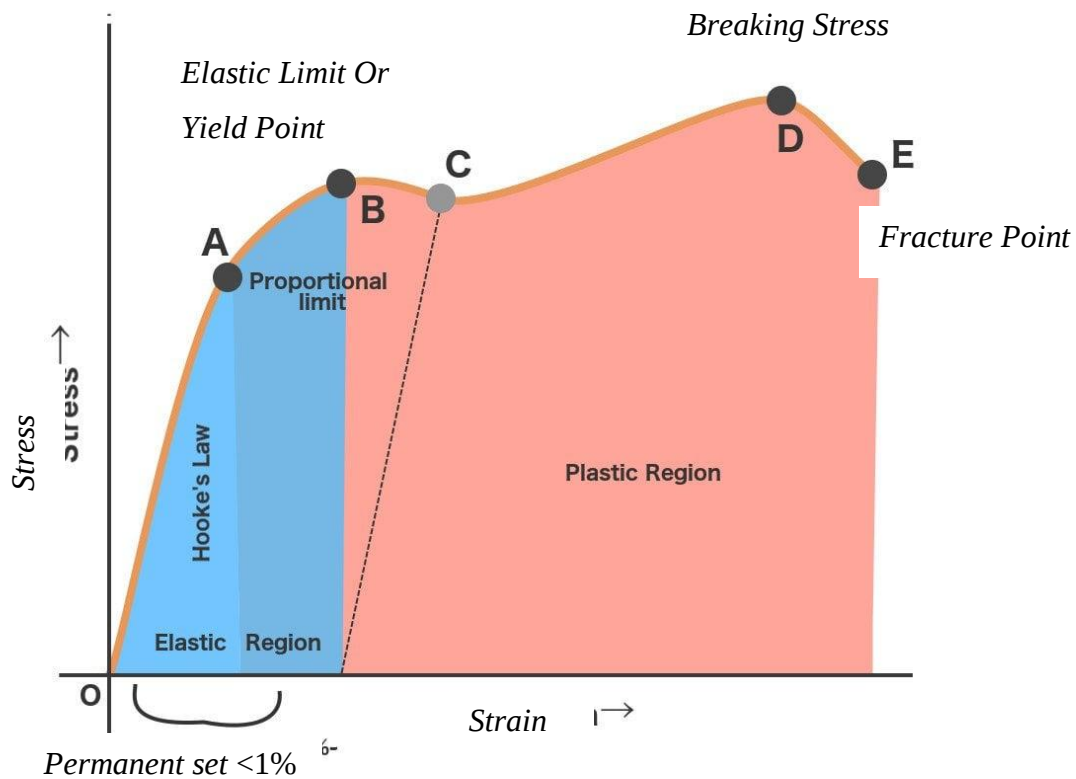
salah satu contoh dari hasil pengamatan metalografi alumunium seri 7075 yang belum diproses mekanik.



Gambar 2.10 Hasil Metalografi Alimunium 7075 Belum Diproses Mekanik

2.7 Tegangan dan Regangan

Suatu benda elastis akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu ketika ditarik oleh sebuah gaya. Besarnya tegangan pada sebuah benda adalah perbandingan antara gaya tarik yang berkerja benda terhadap luas penampang benda tersebut. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan benda berubah bentuk. Tegangan secara mendasar dibedakan menjadi tiga macam berdasarkan arah gayanya yaitu regangan, mampatan, dan geseran. Dari ketiga arah tersebut akan dapat menghasilkan berbagai jenis dan macam tegangan lainnya seperti, tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan puntir, tegangan gesekan, tegangan bengkok/*bending*.



Gambar 2.11 Grafik Tegangan dan Regangan

Misalnya, jika ada dua buah kawat dari bahan yang sama tetapi luas penampang berbeda dan diberi gaya, kedua kawat tersebut akan mengalami tegangan yang berbeda. Kawat dengan luas penampang yang lebih kecil akan mengalami tegangan yang lebih besar daripada kawat dengan luas penampang yang lebih besar

Elastis adalah kecenderungan bahan padat untuk kembali ke bentuk aslinya setelah terdeformasi. Benda padat akan mengalami deformasi ketika gaya diaplikasikan padanya. Material dapat elastis karena gaya yang diberikan belum cukup untuk membuatnya berubah bentuk. Secara skala partikel elastis terjadi selama atom

belum mengalami deformasi. Contoh material yang cenderung elastis seperti polimer dan kramik [16].

Plastis adalah dimana material yang ditarik sudah tidak dapat kembali ke bentuk semula. Berkebalikan dengan elastis, plastis diakibatkan karena adanya gaya yang bekerja melebihi kemampuan material tersebut. Material yang bersifat plastis pada umumnya adalah logam dan beberapa jenis dari polimer.

Titik patah atau yang disebut juga dengan (*Fracture*) merupakan batas maksimum gaya yang dapat diberikan ke material hingga material terputus, terpisah atau patah. Titik patah atau yang sering disebut juga dengan *breaking point* adalah titik tertentu yang dimiliki benda elastis, dimana bila suatu gaya melebihi titik patah ini diterapkan pada benda tersebut, maka benda elastis akan patah. Pada grafik uji tarik teknis, tegangan akan menurun. Namun pada grafik uji tarik nyata, grafik akan naik. Hal itu disebabkan karena pada saat mengalami pengurangan ukuran penampang atau *necking*, luas penampang tersebut juga terukur. *Necking* sendiri merupakan fenomena dimana material yang diberikan yang sudah mencapai dan melewati batas dari UTS (*Ultimate Tensile Strength*) atau kekuatan maksimum material. *Ultimate tensile strength* (UTS) sering disingkat menjadi *tensile strength* (TS) atau *ultimate strength*, adalah tegangan maksimum yang material dapat menahan saat sedang diregangkan atau ditarik sebelum gagal atau melanggar. Kekuatan tarik adalah tidak sama dengan kuat tekan dan nilai-nilai bisa sangat berbeda.

Regangan adalah pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang mula-mula yang disebabkan oleh adanya gaya luar yang mempengaruhi benda. Regangan dapat

diartikan juga sebagai ukuran perubahan dimensi yang terjadi akibat tegangan. Material meregang tentunya secara skala partikel atom bergerak namun belum mengalami deformasi partikel. Sehingga tidak akan berpotensi mengubah bentuknya.



Gambar 2.12 Hasil Uji tarik dalam mencari nilai Modulus Young

Modulus Young, disebut juga dengan modulus tarik adalah ukuran kekakuan suatu bahan elastis yang merupakan ciri dari suatu bahan. Modulus Young dapat diartikan sebagai rasio tegangan dalam sistem koordinat Kartesius terhadap regangan sepanjang aksis atau sumbu x pada jangkauan tegangan di mana hukum Hooke berlaku. Dalam mekanika benda padat, kemiringan (*slope*) pada kurva tegangan-regangan pada titik tertentu disebut dengan modulus tangen. Modulus tangen dari kemiringan linear awal disebut dengan modulus Young. Nilai modulus Young bisa didapatkan dalam

eksperimen menggunakan uji kekuatan tarik dari suatu bahan. Pada bahan anisotropis, modulus Young dapat memiliki nilai yang berbeda tergantung pada arah di mana bahan diaplikasikan terhadap struktur bahan yang diamati [17]:

Dalam melakukan analisis tegangan dan regangan, atau disebut sebagai sifat mekanik material, didapatkan istilah mengenai Teori Dislokasi. Dislokasi adalah cacat linier dalam struktur kristal di mana tatanan atomik terganggu atau terputus. Teori dislokasi menjelaskan bagaimana pergerakan dan interaksi dislokasi mempengaruhi sifat mekanik dan perilaku deformasi material. Dalam teori dislokasi, densitas dislokasi memiliki peran penting. Densitas dislokasi mengacu pada jumlah dislokasi per unit volume material. Densitas dislokasi dapat dinyatakan dalam jumlah dislokasi per satuan luas pada permukaan dislokasi (densitas permukaan) atau jumlah dislokasi per unit volume (densitas volume) [16]. Densitas dislokasi juga dapat mempengaruhi rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Densitas dislokasi yang tinggi memicu rekristalisasi lebih cepat dan pertumbuhan butir yang signifikan karena dislokasi bertindak sebagai awal keretakan dan mendorong perubahan mikrostruktur material.