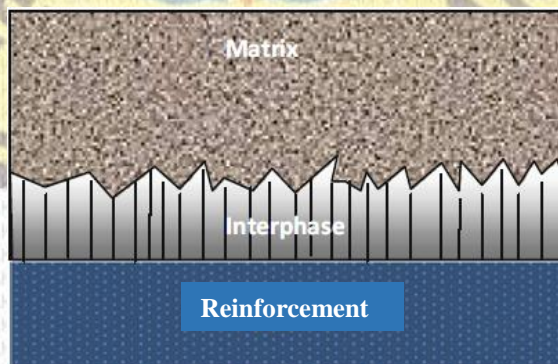


Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1 Komposit

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Adanya beberapa penyusun komposit ini dapat diklasifikasikan menjadi beberapa daerah dan istilah penyebutannya yaitu *Matrix* (penyusun dengan fraksi volume terbesar), *Reinforcement* (Penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *Interface* (permukaan fasa yang berbatasan dengan fasa lain) dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Skema Struktur Komposit (Shanyi, 2006)

Karakteristik dari komposit ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya Material yang menjadi penyusun komposit, karakteristik komposit ditentukan

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

berdasarkan karakteristik material penyusun menurut *rule of mixture* sehingga berbanding secara proporsional. Kemudian bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun, bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit. Interaksi antar penyusun, bila terjadi interaksi antar penyusun dapat meningkatkan sifat dari komposit. Pada Gambar 2.1 Dapat dilihat bahwa adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya, *Matrix* (penyusun dengan fraksi volume terbesar), *Reinforcement* (Penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun) dan *interface* (permukaan fasa yang berbatasan dengan fasa lain). Struktur material komposit dibentuk dari material penguat yang disisipkan dalam matriks perekat. Jenis dari matriks yang digunakan dalam material komposit dapat menentukan sifat dominan dari material komposit dan dapat mengontrol sifat yang diinginkan dari material komposit yang dibentuk. Adapun fungsi matrik adalah sebagai berikut:

1. Mentransfer tegangan ke *reinforced*.
2. Membentuk ikatan permukaan matrik dan *reinforced*.
3. Melindungi *reinforced*.

Secara strukturmikro material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalin) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan filler. Syarat terbentuknya komposit adalah adanya ikatan permukaan antara matriks dan filler. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi (Pramono. A, 2008).

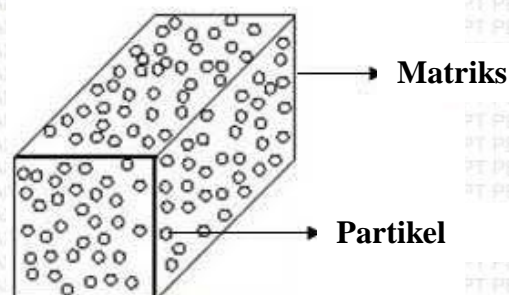
PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

2.2 Komposit Partikel Hibrid

Dalam dunia komposit, dikenal istilah komposit hibrid (*hybrid composite*).

Pada komposit hibrid ini dalam suatu matriks memungkinkan adanya dua atau lebih partikel penguat. Sehingga memungkinkan juga terjadinya interaksi maupun proses penguatan yang lebih kompleks, baik terhadap matriks itu sendiri maupun kepada penguat lain dalam satu matriks tersebut. Pada komposit hibrid perubahan yang signifikan sangat terlihat ketika material komposit tersebut dilakukan pembebanan. Kerusakan pada komposit hibrid ini biasanya terjadi secara bertahap (*noncatastrophic*). Komposit partikel hibrid merupakan salah satu jenis komposit berdasarkan strukturnya. Partikel atau serbuk sebagai bahan penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matriks. Ukuran, bentuk dan material partikel adalah faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit partikel. Partikel seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata agar dapat menghasilkan kekuatan yang lebih seragam (Van.V, 1985). Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan komposit partikel adalah menghilangkan unsur udara dan air, karena partikel yang berongga kurang baik digunakan dalam campuran komposit (Andri. S, 2008).



Gambar 2.2 Struktur Komposit Partikel (Andri. S, 2008)

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

2.3 Antarmuka (*Interface*) pada Komposit Partikel Hibrid

Antarmuka (*interface*) dapat diartikan sebagai daerah planar dengan ketebalan yang hanya beberapa atom, dimana pada daerah ini terjadi perubahan sifat dari matriks ke penguat. Oleh karena itu, pada antarmuka ini biasanya terdapat ketidak-kontinuan sifat kimia, struktur kristal dan molekular, sifat mekanis dan sifat lainnya. Karakteristik dari suatu antarmuka ditentukan oleh ketidak-kontinuan ini sehingga antarmuka spesifik untuk setiap kombinasi matriks dan penguat. Harus terdapat ikatan antara matriks dan penguat untuk memungkinkan transfer beban dari matriks ke penguat. Beberapa jenis ikatan yang dapat terjadi pada *interfacial bonding* diantaranya (Shanyi, 2006) :

1. Ikatan Mekanik

Mekanisme penguncian (*interlocking* atau *keying*) antara dua permukaan yaitu matriks dan penguat. Permukaan yang kasar dapat dapat menyebabkan *interlocking* yang terjadi semakin banyak dan ikatan mekanik menjadi efektif. Ikatan menjadi efektif jika beban yang diberikan parallel terhadap antarmuka. Bila beban yang diberikan tegak lurus terhadap antarmuka, ikatan mekanik tidak efektif.

2. Ikatan Elektrostatik

Proses tarik menarik antara permukaan yang berbeda tingkat kelistrikkannya (muatan positif dan negatif) dan terjadi pada skala atomik. Efektivitas terhadap jenis ikatan ini dapat menurun jika ada kontaminasi permukaan dan kehadiran gas yang terperangkap.

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

3. Ikatan Kimia

Dibentuk oleh adanya grup-grup yang bersifat kimiawi pada permukaan penguat dan matriks. Kekuatan ikatan ditentukan oleh jumlah ikatan kimiawi menurut luas dan tipe ikatan kimia itu sendiri.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Pramono. A, 2015) menginvestigasi daerah antarmuka (*interface*) pada komposit AA 1070 dengan metode *Repetitive Press Roll Bonding* (RPRB). Dari hasil investigasi didapatkan bahwa metode RPRB memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi, hal ini dikarenakan pada pengamatan metalografi ditemukan daerah *missing line*. *Missing line* adalah salah satu fenomena penguatan pada komposit dimana matriks dan penguat menyatu secara sempurna atau berikatan kuat secara ikatan mekanik.

2.4 Alumunium

Aluminium ditemukan oleh sir Humphrey Davy pada tahun 1809 dalam suatu unsur, dan pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted untuk pertama kalinya direduksi sebagai logam. Baru diakui secara pasti oleh F. Wohler pada tahun 1827. Aluminium merupakan logam yang paling banyak dikonsumsi kedua di dunia setelah baja yaitu sekitar 88 Juta tons/tahun karena beberapa sifatnya diantaranya yaitu memiliki densitas yang rendah, tahan terhadap korosi, konduktifitas termal yang tinggi, koefisien muai yang rendah dan mudah di daur ulang (A. Ghosh, 2017). Beberapa sifat aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1

Berikut:

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Alumunium (J. Davis, 2001)

Sifat	Nilai
Struktur Kristal	FCC
Titik Lebur	660,2 °C
Densitas	2,6 g/cm ³
Panas Spesifik	0,219 cal/g.°C
Konduktivitas Termal	0,57 cal/cms.°C
Koefisien Ekspansi	23,5 × 10 ⁻⁶ /°C
Modulus Elastisitas	68,3 GPa

Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi, menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya.

2.5 Alumunium Paduan 5052

Aluminium dalam bentuk paduan yang sering dikenal dengan istilah *Aluminium Alloy* merupakan jenis aluminium yang digunakan cukup besar saat ini. Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasiannya (*ASM Handbook*).

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

Vol.4, 1991). Salah satu penamaan paduan aluminium adalah dengan standar AA, seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.4 Daftar Seri Paduan Aluminium (T. Saito, 1999)

No Seri	Komposisi
1xxx	Al Murni
2xxx	Paduan Al – Cu
3xxx	Paduan Al – Mn
4xxx	Paduan Al – Si
5xxx	Paduan Al - Mg
6xxx	Paduan Al – Mg - Si
7xxx	Paduan Al – Zn
8xxx	Paduan Al – Sn - Li

Paduan aluminium Al – Mg dari seri 5xxx merupakan jenis aluminium yang dapat dikeraskan melalui mekanisme regangan (*strain hardenable*), tahan terhadap korosi bahkan dalam air garam, *weldability* yang baik dan memiliki ketangguhan yang baik bahkan pada suhu *cryogenic* mendekati nol. Seri 5xxx dibagi menjadi beberapa jenis tergantung dari pengaplikasiannya salah satu diantaranya adalah AA5059 untuk aplikasi material *armour*. Perbedaan dari sekian banyaknya seri 5xxx adalah persen kandungan masing – masing paduan, semakin tinggi kandungan Mg maka semakin besar pula kekuatannya (Saito, 1995).

AA5052 merupakan jenis seri paduan aluminium 5xxx yang memiliki sifat diantaranya *non-heat treatable*, memiliki kandungan 2,5%Mg dan 0,25%Cr dan banyak di pakai sebagai bahan tempaan. Adapun untuk pengaplikasiannya

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

AA5052 banyak digunakan untuk material kapal laut, tabung pesawat, *freezer* pada kapal laut dan tangki bahan bakar. Sifat Fisik dari AA5052 dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.5 Sifat Mekanik AA5052 Standard ASTM B209M (Al Data Sheet, 2013)

<i>Alloy And Temper</i>	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> 0,2% <i>Proof</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (% min)
AA5052 – O	170 – 215	65	14 – 20
AA5052 – H32	215 – 265	160	4 – 10
AA5052 – H34	235 – 285	180	3 – 8
AA5052 – H36	255 – 305	200	2 – 4
AA5052 – H38	270 min	220	2 – 4

Penandaan *temper* diperlukan untuk memilih aluminium paduan yang tepat, sifat yang tidak hanya ditentukan oleh komposisi kimianya tapi ditentukan juga oleh proses *heat treatment* paduan tersebut dan dari proses pengerjaan dingin (*cold working*) yang dilakukan oleh paduan yang akan dijadikan sebuah komponen. Akhiran pada penandaan *temper* tersebut ditulis dengan penandaan paduan dengan sebuah tanda penghubung. Contohnya AA5052 – H12, digit pertama (H) menunjukkan perlakuan yang dilakukan, digit kedua (1) menunjukkan hanya dapat dilakukan *strain hardenable* dan digit ketiga (2) menunjukkan tingkat kekerasannya.

Penandaan *temper* menggunakan huruf kapital, yang mengindikasikan kondisi *temper* awal paduan tersebut. Berikut penandaan paduan aluminium menurut

IADS (ASM *HandBook*. Vol.4, 1991):

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

a) **F**, *as fabricated*, tidak ada perlakuan khusus seperti *heat treatment* atau *strain hardening* setelah paduan tersebut dilakukan proses fabrikasi seperti pengecoran, *hot working*, atau *cold working*. Paduan tersebut digunakan untuk proses fabrikasi saja yang tidak memerlukan proses *heat treatment* lebih lanjut.

b) **O**, *annealed*, menandakan bahwa paduan tersebut telah mengalami proses pelunakan (*anneal*). Digunakan untuk paduan tempa (*wrought*). Proses *anneal* bertujuan untuk melunakkan paduan dan untuk paduan *casting* proses *anneal* dilakukan untuk meningkatkan keuletan (*ductility*) dan kemampuan untuk stabil terhadap dimensi. Proses *anneal* juga berfungsi untuk menghilangkan tegangan dalam sehingga elastisitas dapat ditingkatkan dan memudahkan permesinan lebih lanjut.

c) **H**, *strain hardened*, digunakan pada paduan yang digunakan untuk produk tempa (*wrought*). Digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses *strain hardening*, dengan atau tanpa proses *heat treatment* selanjutnya.

d) **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 ruangan. Proses *solution heat treatment* dilakukan untuk membentuk fasa *solution* yang stabil.

e) **T**, *thermal treated (heat treatment)*, digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses *heat treatment*, dengan atau

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

tanpa proses *strain hardening*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk membentuk fasa yang stabil, dibandingkan dengan F, O atau H. Dengan fasa yang stabil, kekuatan dan kekerasan logam akan lebih baik.

2.6 Severe Plastic Deformation (SPD)

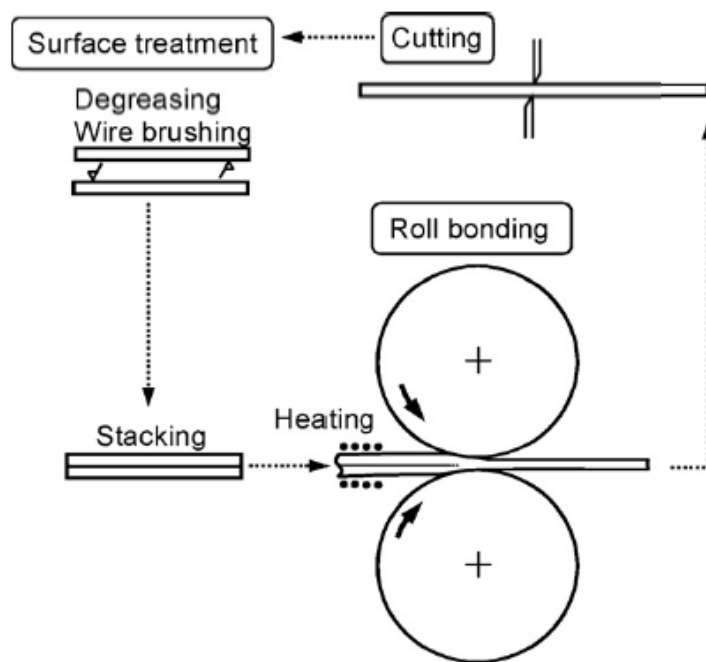
Severe Plastic Deformation (SPD) adalah teknik pengerjaan logam yang melibatkan regangan yang sangat besar dan tegangan yang kompleks sehingga dihasilkan butiran yang sangat halus (*Ultra Fine Grain*) dengan ukuran sekitar ($d < 500$ nm) dengan struktur *Nano Crystalline* (NC) (P. Veena, 2017). Teknologi SPD dibagi menjadi beberapa diantaranya:

2.6.1 Accumulative Roll Bonding (ARB)

Accumulative Roll Bonding (ARB) adalah jenis dari proses SPD dimana dua lembaran pelat di *rolling* sehingga berikatan satu sama lain dan dihasilkan butiran berskala nanometer dengan kekuatan yang tinggi. Metode ARB banyak digunakan pada material logam paduan dan komposit khususnya komposit aluminium. Keuntungan dari metode ARB merupakan proses SPD yang paling banyak dilakukan karena dapat meningkatkan kekuatan yang signifikan dengan proses yang sederhana serta produktivitasnya yang tinggi sehingga dapat dikomersilkan. Skematik proses ARB dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

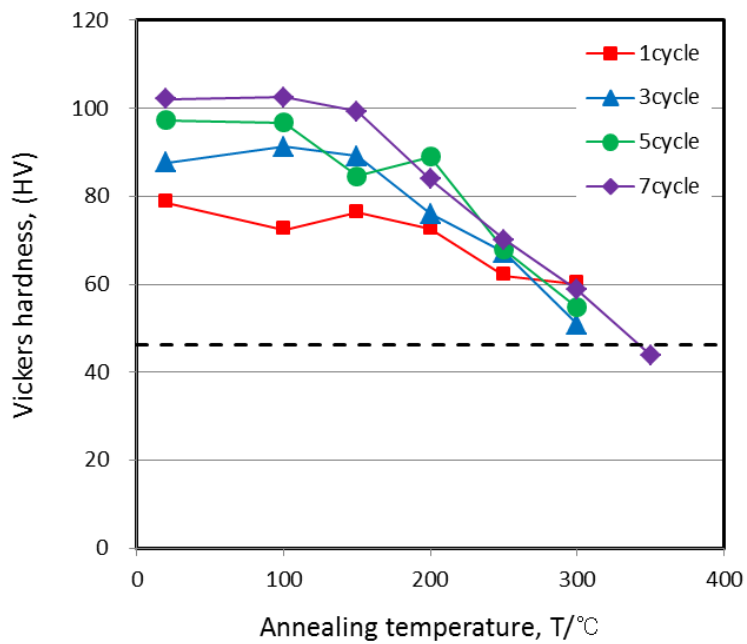


Gambar 2.3 Skematik Proses ARB (Tsuji, 1999)

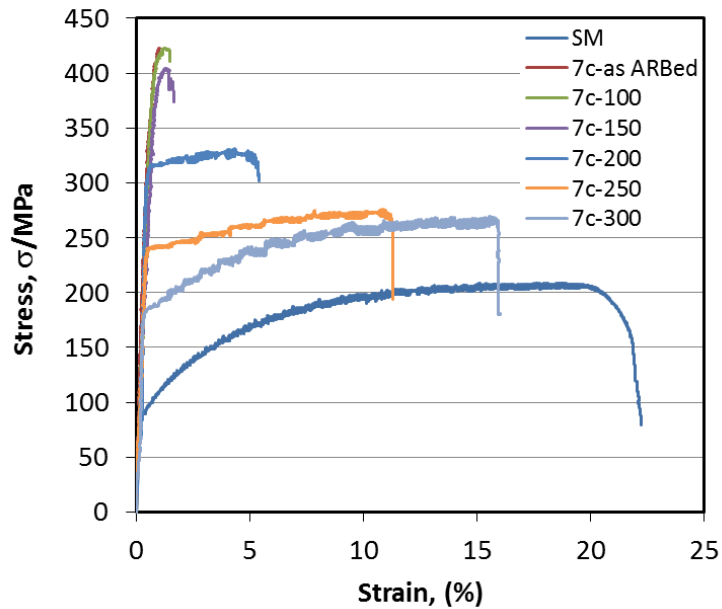
Metode ARB prosesnya sangat sederhana serta memiliki kemampuan untuk menghasilkan UFG (*ultra fined grain*) tanpa mengubah dimensi spesimen sehingga menjadi proses industri yang sangat potensial. Potensi yang tinggi ini menyebabkan banyaknya riset yang meneliti mengenai ARB. Diantaranya riset mengenai variasi siklus dan temperatur anil terhadap sifat mekanik berupa kekerasan dan kuat tarik pada pembuatan komposit AA5052 dengan metode ARB, mendapatkan hasil bahwa semakin besar siklus yang dilakukan maka nilai kekerasannya semakin besar. Sebaliknya semakin besar temperatur anil yang digunakan maka nilai kekerasannya semakin rendah (Gambar 2.5). Berikutnya pada siklus ke-7 nilai kuat tarik optimal didapatkan (Gambar 2.6).

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Gambar 2.4 Hasil Uji Kekerasan Komposit AA5052 (Keizo K, 2016)



Gambar 2.5 Hasil Uji Tarik Komposit AA5052 (Keizo K, 2016)

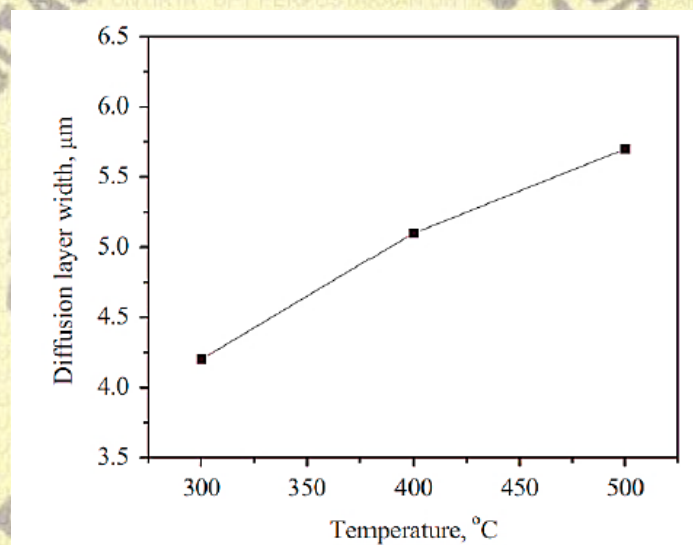
Ada beberapa parameter yang harus di perhatikan ketika akan melakukan proses ARB diantaranya:

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

a) Temperatur *Rolling*

Pada saat pertama kali ARB ditemukan metode ini dilakukan pada temperatur tinggi namun banyak dilakukan juga pada temperatur kamar saat ini. Kualitas ikatan biasanya sangat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur ketebalan lapisan difusi meningkat sehingga kekuatan ikatan juga ikut meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 untuk sampel ARB Al – Ti.



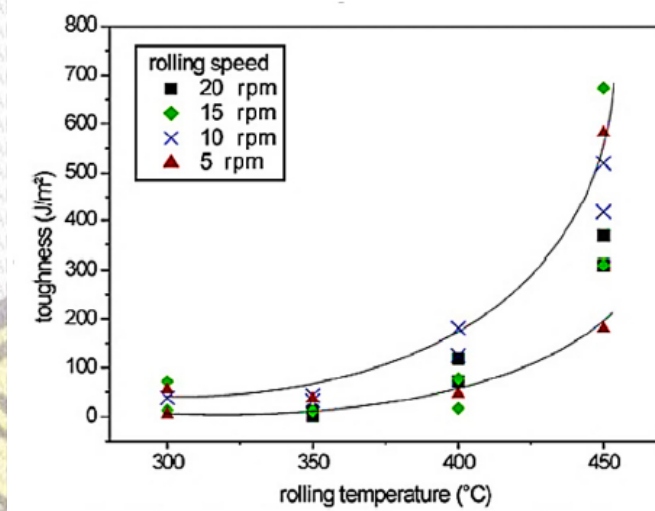
Gambar 2.6 Pengaruh Temperatur terhadap Lebar Lapisan Difusi (Ma, 2015)

b) Kecepatan *Rolling*

Kecepatan rolling biasanya menghasilkan ikatan yang lebih kuat karena kualitas ikatan sangat dipengaruhi oleh difusi bahan dan waktu tekanan kontak. Parameter ini juga bergantung pada jenis material, sifat permukaan dan temperature *rolling*.

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/ seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/ seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Gambar 2.7 Pengaruh Kecepatan *Rolling* terhadap Ketangguhan (Quadir, 2008)

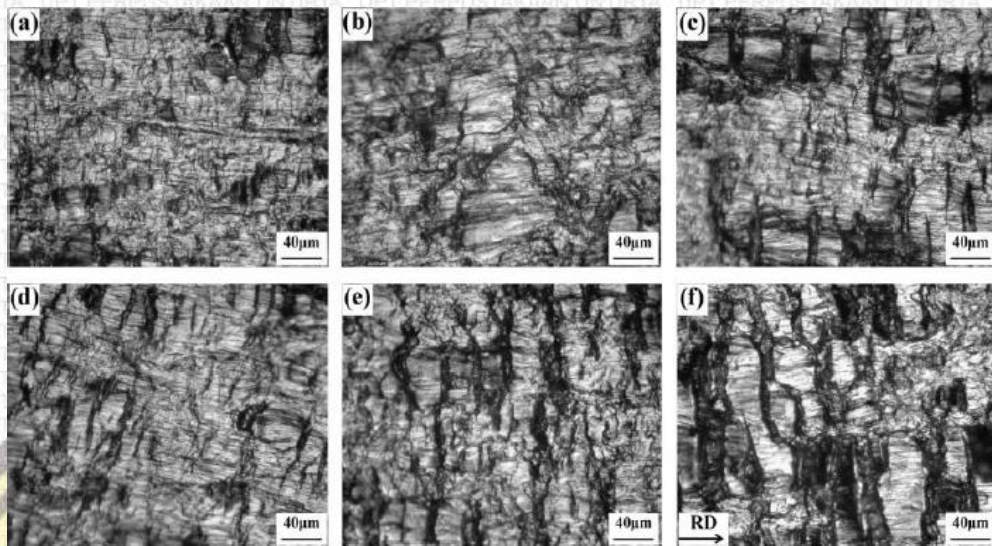
c) Reduksi *Rolling*

Salah satu penentu utama kualitas ikatan adalah regangan plastis yang dihasilkan dari reduksi *rolling*. Perlu diketahui bahwa nilai minimum pengurangan ketebalan (*Rt*) adalah reduksi yang diperlukan untuk mencapai ikatan yang memadai. Jumlah *Rt* berkurang ketika temperatur *rolling* meningkat hingga temperatur rekristalisasi. Jika ARB dilakukan pada temperatur rekristalisasi maka persen reduksi yang terbaik adalah 50% reduksi.

Sebagai bukti kekuatan ikatan yang dipengaruhi secara mekanis pada pengamatan mikroskopis permukaan Ti/Cu yang di reduksi berbeda menunjukkan bahwa dengan meningkatnya reduksi, ukuran permukaan retak meningkat sebagai akibat dari peningkatan ekspansi permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Gambar 2.8 Struktur Mikro Permukaan kulit Ti (a-c) dan Cu (d-f), dengan Pengurangan Ketebalan 44% (a,d); 56% (b,e) dan 62 % (c,f) (Manesh, 2015)

d) Gesekan *Rolling*

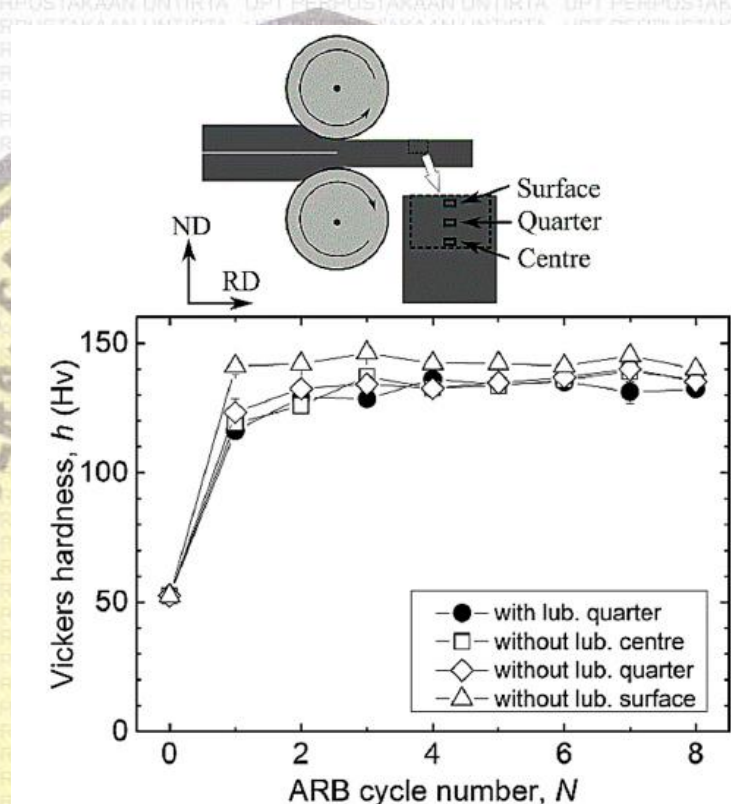
Sebagian besar penelitian tentang ARB telah dilakukan tanpa pelumas. Hasil ini didapatkan dengan melakukan ARB pada koefisien gesekan yang berbeda dengan pelumas, dan dalam kondisi permukaan kering dan kasar di mana kekuatan kulit rata-rata meningkat ketika koefisien gesekan meningkat antara strip dan gulungan mungkin karena peningkatan tekanan kontak rata-rata antara bagian luar lapisan permukaan dengan *rolling*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, pada siklus ARB sebelumnya, nilai kekerasan meningkat hingga ~ 140 HV pada lapisan permukaan dengan tanpa pelumas; kekerasan sampel lainnya mencapai ~ 120 Hv.

Kekerasan pada permukaan (*surface*) sampel ARB tanpa pelumasan tampak konstan, sedangkan untuk bagian lain (*center* dan *quarter*) meningkat secara bertahap dengan meningkatnya jumlah siklus dan kemudian jenuh.

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip bagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

Alasan mengapa kekerasan pada lapisan permukaan hampir selalu lebih tinggi dari daerah bagian dalam adalah karena terdapat penyempurnaan butir tambahan yang disebabkan oleh gesekan antara lembaran dan gulungan.



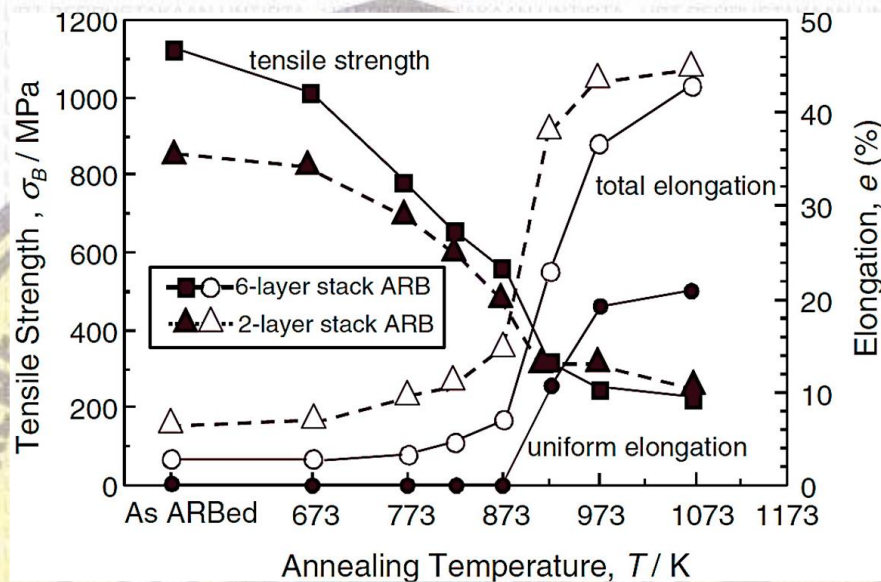
Gambar 2.9 Kekerasan ARB Cu dengan dan tanpa Pelumas (Fujii, 2016)

e) Jumlah Lapisan (*layer*)

Jumlah lapisan sangat mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan. Kekuatan ikatan antara lembaran dengan teknik *four-layer* ARB 2 - 2,2 kali lebih besar dibandingkan teknik ARB tradisional (*two-layer*) dikarenakan *strain equivalent* pada bidang kerja yang dihasilkan terbesar dibandingkan dengan teknik SPD lainnya. Dapat dilihat pada Gambar 2.5 perubahan sifat mekanik dengan suhu anil baja IF yang diproses oleh tiga siklus ARB stack enam lapis dibandingkan dengan hasil dua lapis.

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Gambar 2.10 Pengaruh Temperatur Anil terhadap Kekuatan Tarik (Lee, 2004)

f) Partikel Penguat (*Reinforcement*)

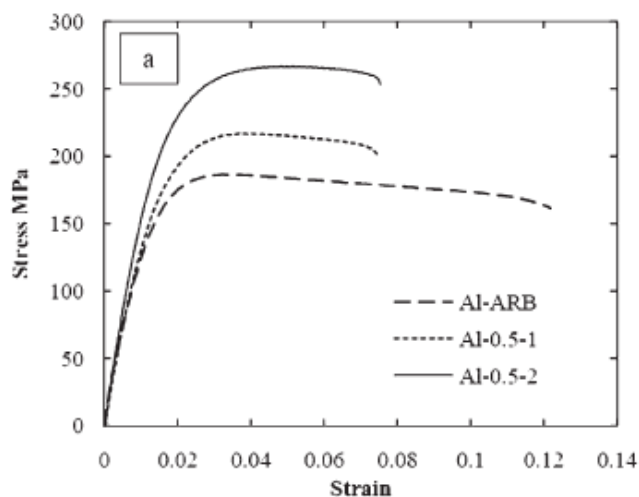
Teknologi ARB banyak digunakan pada material *Metal Matrix Composites* (MMCs) atau biasa disebut komposit bermatriks logam dengan tambahan penguat. Dengan menggunakan ARB, MMCs dapat diproduksi dengan distribusi aditif penguatan yang seragam di antara lembaran. Efek dari aditif ini dalam hal bentuk, geometri, ukuran, bahan, dan fraksi volume dapat diselidiki. Beberapa penelitian menunjukkan efek fraksi volume pada kekuatan MMCs yang diproduksi oleh ARB untuk Al murni yang diperkuat oleh persentase berat yang berbeda dari strip Al. Selain peningkatan kekuatan yang disediakan oleh SPD, kekuatan mekanik dapat ditingkatkan secara signifikan dengan memperkuat partikel alumina yang digunakan dalam bahan. Perlu

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

dicatat bahwa pengerasan regangan dan penguatan dislokasi memainkan peran kunci dalam peningkatan kekuatan untuk spesimen monolitik ARB. Untuk spesimen MMC ARB yang diperkuat, partikel-partikel tersebut bertindak sebagai penghalang terhadap pergerakan dislokasi dan pertumbuhan retak. Hasil serupa untuk peningkatan kekuatan dengan peningkatan fraksi volume partikel telah dilaporkan dalam semua penelitian yang dilakukan pada komposit yang di produksi dengan metode ARB.

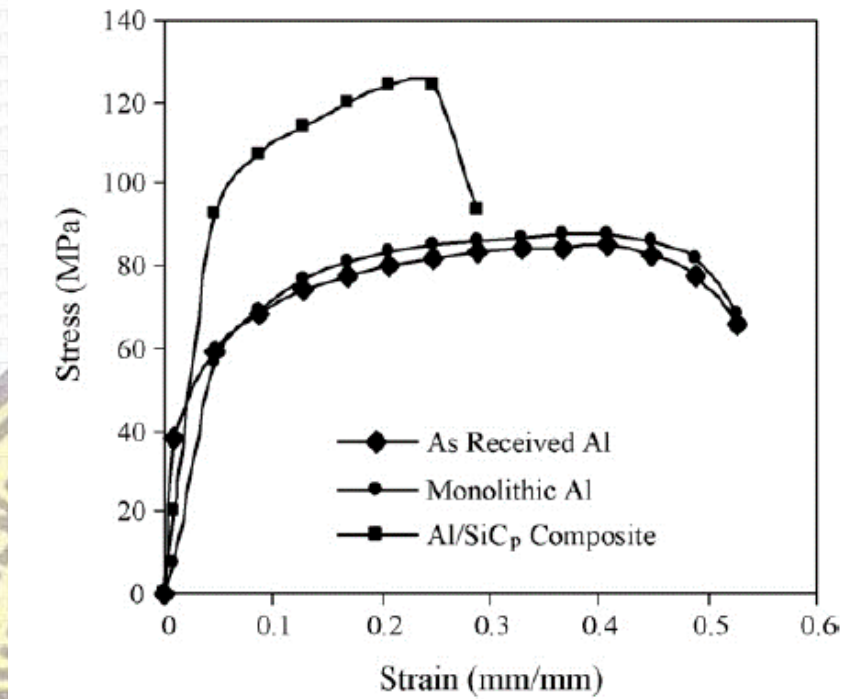
Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan komposit aluminium dengan *reinforce* Al_2O_3 variasi komposisi dan ukuran partikel *reinforce* 90 nm; 0.5 μm menggunakan metode ARB mendapatkan hasil bahwa semakin banyak komposisi dan kecil ukuran partikel *reinforce* (Al_2O_3) maka kuat tarik pada komposit aluminium akan semakin meningkat, dapat dilihat pada Gambar 2.10. Begitu juga dengan Penambahan *reinforce* SiC maka kekuatan yang dihasilkan akan lebih tinggi dibanding tanpa penambahan *reinforce* SiC, hal ini dikarenakan dengan penambahan SiC dapat mengurangi porositas yang dihasilkan.



Gambar 2.11 Pengaruh Al_2O_3 terhadap Kekuatan Tarik (Rezayat, 2012)

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



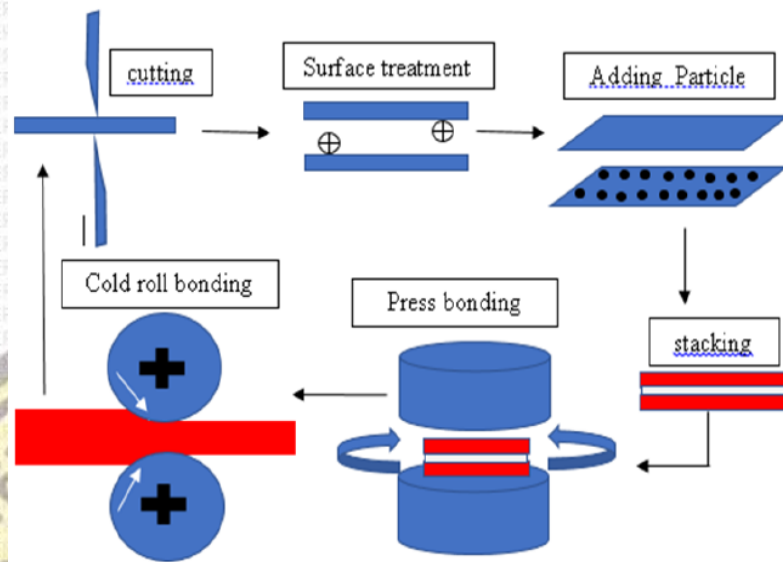
Gambar 2.12 Pengaruh Penguat SiC terhadap Kekuatan Tarik (Alizadeh, 2009)

2.6.2 Repetitive Press Roll Forming (RPRF)

Repetitive Press Roll Forming (RPRF) adalah salah satu proses SPD dengan menggabungkan dua jenis gaya yaitu antara *Accumulative Press Bonding* (APB) dengan ARB. Salah satu kekurangan dari proses ARB adalah rendahnya kualitas *Interface Bonding* pada siklus awal akibat masih terdapat porositas yang terbentuk sehingga perlu dilakukan modifikasi proses yaitu dengan menambahkan proses *pressing* terlebih dahulu. Adapun tujuan dari proses *pressing* adalah untuk membenamkan partikel penguat pada matriks sehingga pada proses *rolling* tidak terjadi pergeseran partikel dan porositas yang terbentuk lebih sedikit. (Pramono. A Patent, 2017). Skema Proses ARB dapat dilihat pada Gambar 2.12 Berikut:

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Gambar 2.13 Skematik Proses RPRF (Pramono. A, 2015)

2.7 Mekanisme Penguatan

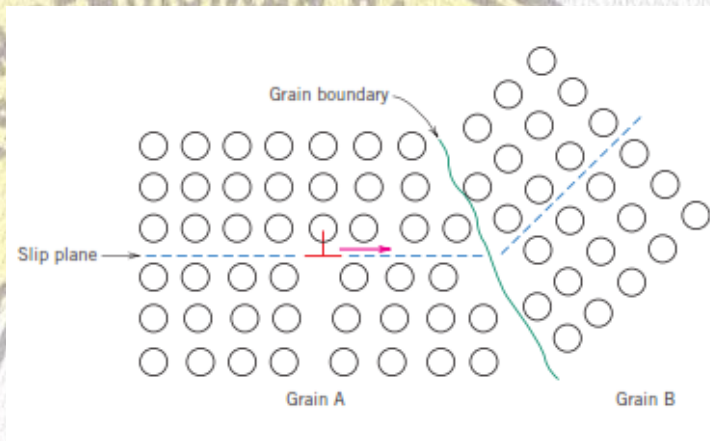
Mekanisme penguatan erat hubungannya dengan fenomena deformasi plastis dan pergerakan dislokasi. Kemampuan logam untuk berdeformasi plastis bergantung kepada kemampuan dislokasi untuk bergerak. Kekuatan dan kekerasan yang dihasilkan terkait dengan kemudahan terjadinya deformasi plastis, karena dengan terjadinya deformasi plastis dapat mengurangi mobilitas dislokasi sehingga kekuatannya akan meningkat. Akan tetapi untuk menghasilkan deformasi plastis dibutuhkan kekuatan yang besar bergantung pada jenis logam yang di gunakan. (Callister. D, 2007). Penguatan pada komposit bergantung pada kekuatan ikatan antara matriks dan penguatnya. Berikut terdapat beberapa jenis mekanisme penguatan:

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

2.7.1 Ukuran Butiran

Ukuran butir atau diameter butir rata – rata mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan. Batas butir berperan sebagai penghalang dislokasi, karenanya semakin banyak batas butir semakin sulit dislokasi untuk bergerak. Berikut skematik mekanisme penguatan ukuran butiran:



Gambar 2.14 Skematik Mekanisme Penguatan Ukuran Butiran (Callister. D, 2007)

Butiran yang halus (*fine-grained*) menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan butiran yang kasar (*coarse-grained*), karena memiliki area batas butir total yang besar untuk menghambat gerakan dislokasi. Semakin kecil ukuran butir maka kekuatan luluhnya akan semakin meningkat, hal ini dapat di lihat pada persamaan *Hall – Petch* berikut:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{1/2} \dots\dots\dots(2.1)$$

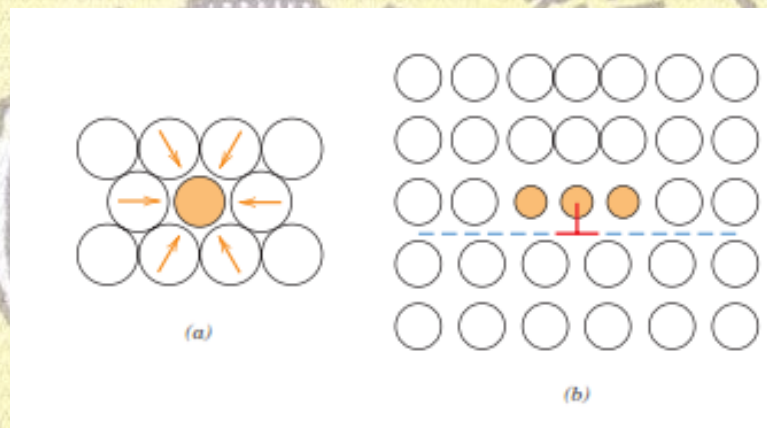
Dimana σ_0 adalah tegangan geser yang berlawanan arah dengan pergerakan dislokasi pada butir, d adalah diameter dan k_y adalah konstanta bahan.

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan,dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

2.7.2 Larutan Padat

Mekanisme lainnya dalam penguatan material adalah larutan padat atau *solid-solution strengthening* yaitu dengan menggunakan atom lain yang disisipkan atau mengganti salah satu atom dalam unit sel. Salah satunya adalah alumunium, dalam keadaan murni alumunium memiliki sifat yang lunak dan kekerasan yang rendah. Dengan ditambahkan atom lain maka sifat mekanik material lebih meningkat dibanding dalam keadaan sebelumnya.



Gambar 2.15 (a) Representasi Regangan Kisi Tarik pada Atom
(b) *Edge Dislocation* (Callister. D, 2007)

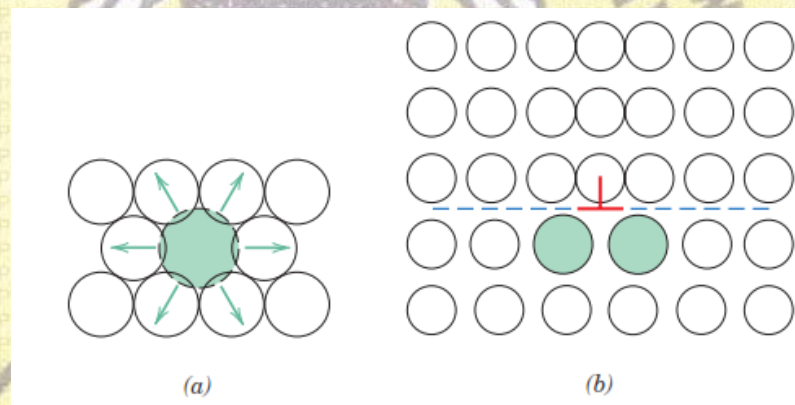
2.7.3 Pengerasan Regangan

Pengerasan regangan atau *Strain Hardening* adalah mekanisme penguatan logam dimana logam ulet berubah sifatnya menjadi material yang memiliki kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi karena mengalami deformasi plastis. Dislokasi adalah pergeseran atau pergerakan atom-atom dalam sistem kristal logam akibat tegangan mekanik yang dapat menghasilkan deformasi plastis. *Strain hardening*

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

terjadi pada material logam dan mengalami dua dislokasi yakni yaitu dislokasi dalam unit sel dan dislokasi yang disebabkan oleh deformasi plastis. Oleh karena itu dislokasi akan semakin besar. Penguatan ini disebut dengan “*cold working*“ biasanya dilakukan pada temperatur kamar yang relatif rendah dibandingkan dengan temperatur leburnya karena peningkatan suhu dapat menurunkan laju pengerasan regangan. Skema pergerakan atau pergeseran atom selama *strain hardening* dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.16 (a) Representasi Regangan Tekan pada Atom
(b) Edge Dislocation (Callister, D, 2007)

2.8 Uji Balistik

Material komposit berkembang sangat cepat bahkan sudah banyak digunakan pada Alat Utama Sistem Senjata (Alutista) salah satunya adalah tank tempur jenis ANOA 6x6 APC (*Armoured Personal Carrier*) yang di produksi oleh PT Pindad seperti pada Gambar 2.16 dan spesifikasinya pada Tabel 2.6 berikut:

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Gambar 2.17 Kendaraan Anti Peluru ANOA 6x6 APC

Spesifikasi kendaraan anti peluru ANOA 6x6 APC yang di produksi PT Pindad dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Spesifikasi Kendaraan ANOA 6x6 APC (PT Pindad, 2006)

Spesifikasi	Nilai
Berat	12,5 – 14,5 ton (combat)
Panjang x Lebar	6 x 2.5 m
Tinggi	2.17 m atas lambung
Perisai	Lapis baja Monocoque, STANAG 4569 level 3
Senjata Utama	Senapan mesin 12.7 m dan 7.62 m, Granat CIS 40 AGL
Senjata Pelengkap	2x3 66 mm Peluncur Granat Asap
Jenis Mesin	Renault MIDR 062045 diesel turbo-charged
Daya Kuda	22.85 HP/ton
Daya Jelajah	600 km
Kecepatan	90 kmjam

Kelebihan kendaraan ini memiliki mobilitas yang tinggi dan tahan terhadap balistik (*armour*). Kendaraan ini menggunakan badan berdesain

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

monocoque berlapis baja. *Monocoque* atau kulit structural adalah sistem struktural dimana beban didukung oleh kulit luar suatu objek mirip dengan kulit telur.

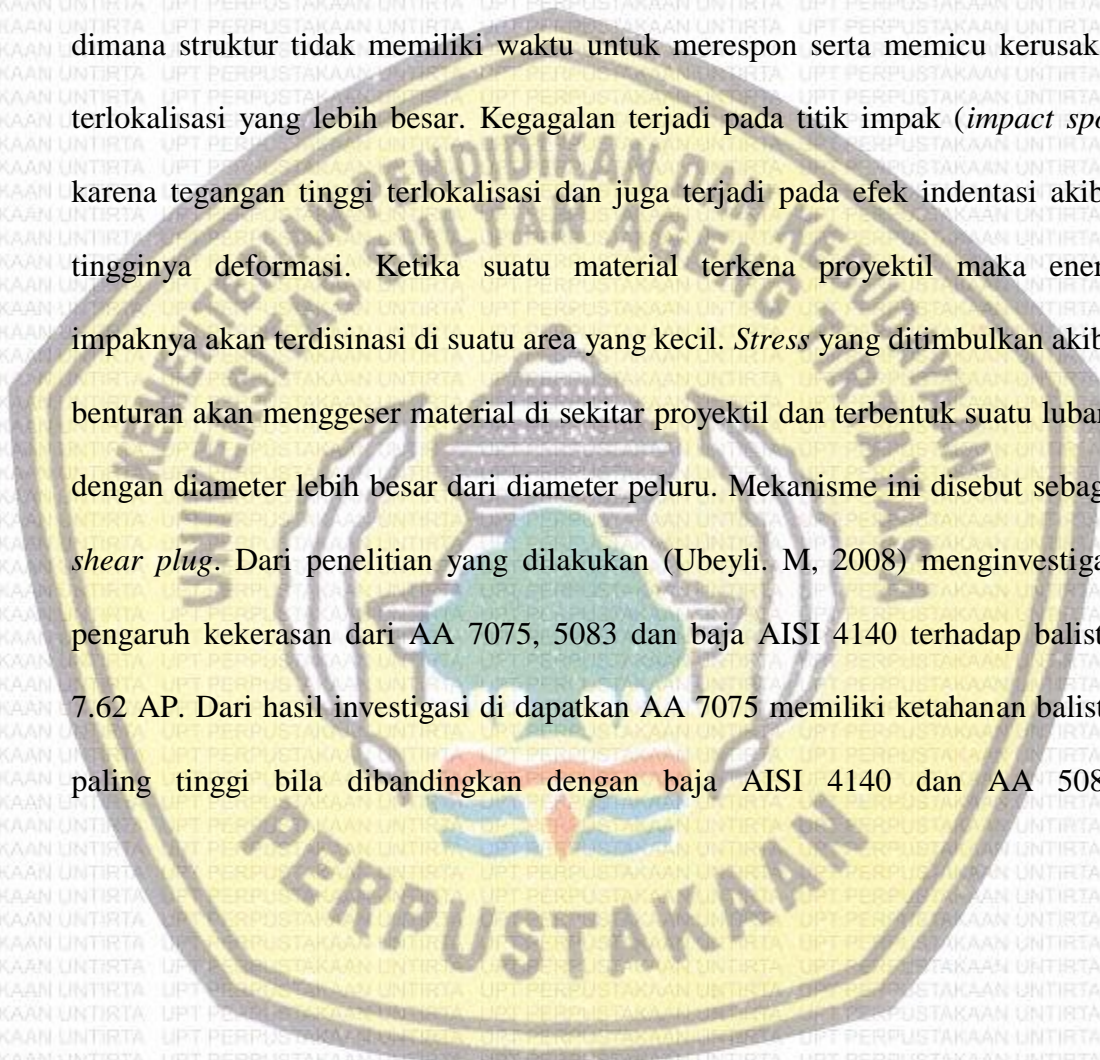
Perindungan yang diberikan oleh lapisan baja dan rangka Anoa memiliki tingkat STANAG 4569 level 3, yang berarti kendaraan ini mampu menahan peluru kinetis hingga 7.62x51 mm *Armor Piercing* standar NATO dari jarak 30 meter dengan kecepatan 930 m/s serta mampu menahan ledakan ranjau hingga massa 8 kg di bagian roda gardan dan di tengah badan. Persenjataan Anoa hingga saat ini ialah senapan mesin berat kaliber 12.7 mm dan 7.62 mm, senapan *Remote Weapon System* berkaliber 7.62 mm dan pelontar granat berkaliber 40 mm serta untuk pertahanan diri Anoa dilengkapi dengan pelontar tabir asap 2x3 66 mm (NIJ EN STANAG Ballistic Standars, 2001).

Material yang digunakan untuk *armour* harus memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi karena material harus tahan terhadap beban dampak yang diberikan proyektil. Untuk membuat material yang tahan terhadap beban balistik diperlukan syarat minimum kekerasan untuk kelas 2 sebesar 273 HV dan untuk kuat tariknya minimum kurang lebih sebesar 877 N/mm² (S.J Cimpuero, 2016). Lintasan dari suatu proyektil ditentukan oleh arah dan kecepatan awal, gaya gravitasi dan hambatan udara (Lerner. K, 2004). Material yang lebih ulet memiliki penyerapan energi yang baik sekali dalam ketahanan balistik, tetapi ketahanan impaknya kurang baik. Material kaku memiliki sifat yang berlawanan (Chang. L, 2008). Pada kecepatan dampak yang sangat rendah, energi kinetik peluru mempengaruhi keseluruhan pelat karena dampak memiliki waktu yang cukup untuk meneruskan energi dampak dari daerah kontak ke semua pelat. Saat dampak terjadi

PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.

pada kecepatan tinggi, energi kinetiknya tidak dapat ditransformasikan menjadi energi deformasi sepanjang keseluruhan pelat (Park. M, 2005). Respon impact kecepatan tinggi di dominasi oleh perambatan tegangan yang melewati material, dimana struktur tidak memiliki waktu untuk merespon serta memicu kerusakan terlokalisasi yang lebih besar. Kegagalan terjadi pada titik impact (*impact spot*) karena tegangan tinggi terlokalisasi dan juga terjadi pada efek indentasi akibat tingginya deformasi. Ketika suatu material terkena proyektil maka energi impaknya akan terdisinasi di suatu area yang kecil. *Stress* yang ditimbulkan akibat benturan akan menggeser material di sekitar proyektil dan terbentuk suatu lubang dengan diameter lebih besar dari diameter peluru. Mekanisme ini disebut sebagai *shear plug*. Dari penelitian yang dilakukan (Ubeyli. M, 2008) menginvestigasi pengaruh kekerasan dari AA 7075, 5083 dan baja AISI 4140 terhadap balistik 7.62 AP. Dari hasil investigasi di dapatkan AA 7075 memiliki ketahanan balistik paling tinggi bila dibandingkan dengan baja AISI 4140 dan AA 5083.



PERINGATAN !!!

1. Dilarang mengutip sebagian/seluruh karya tulis ini untuk digandakan/diperjualbelikan.
2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya tulis ilmiah, penyusunan laporan, dan atau tinjauan suatu masalah dengan catatan tidak merugikan Penulis.
3. Dilarang mengumumkan sebagian/seluruhnya karya tulis ini dalam bentuk apapun.