

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini komposit matrik logam menggunakan *Aluminium Alloy* (AA) seri 7075 menggunakan metode ARB dengan variasi jenis penguat Al_2O_3 , SiC, dan *hybrid* (Al_2O_3 + SiC) dan juga variasi jumlah siklus pengerolan 1, 2, dan 3 kali. Data hasil pengujian tarik dan pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

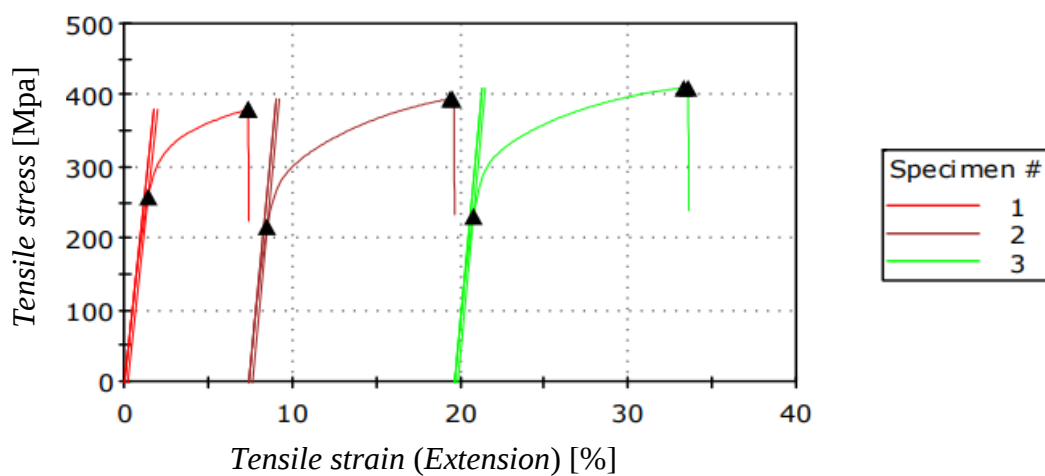
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik dan Kekerasan

Jumlah Siklus	<i>Reinforce</i>	UTS (MPa)	<i>Microhardness</i> (HV)	<i>Elongation</i> (%)
1	Al_2O_3	380,55	117,49	5,93
	SiC	394,89	136,86	11
	<i>Hybrid</i>	410,39	141,16	12,73
2	Al_2O_3	349,74	150,39	7,7
	SiC	464,32	161,45	11,46
	<i>Hybrid</i>	334,63	141,9	5,39
3	Al_2O_3	341,51	134,79	8,46

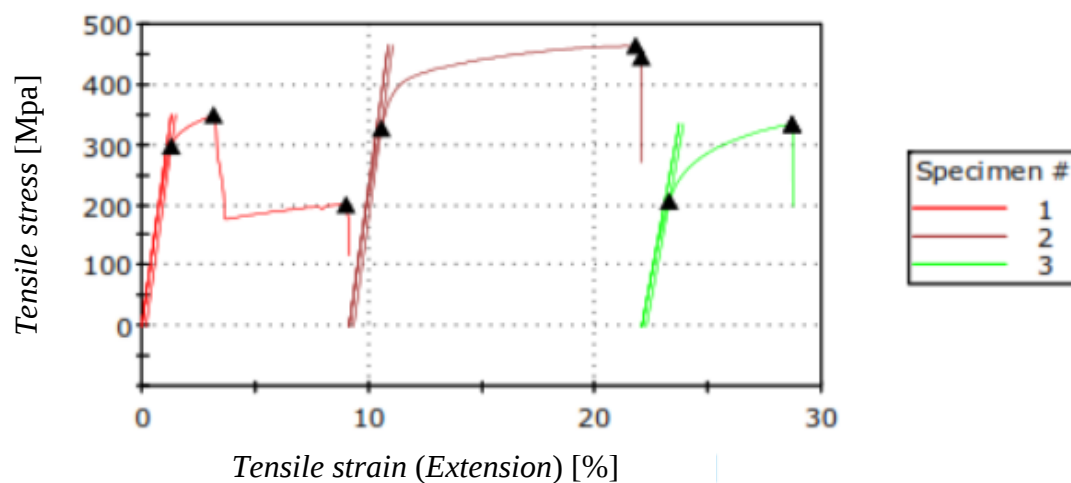
SiC	280,35	127,56	4,76
Hybrid	394,69	139,71	11,8

4.2 Pembahasan

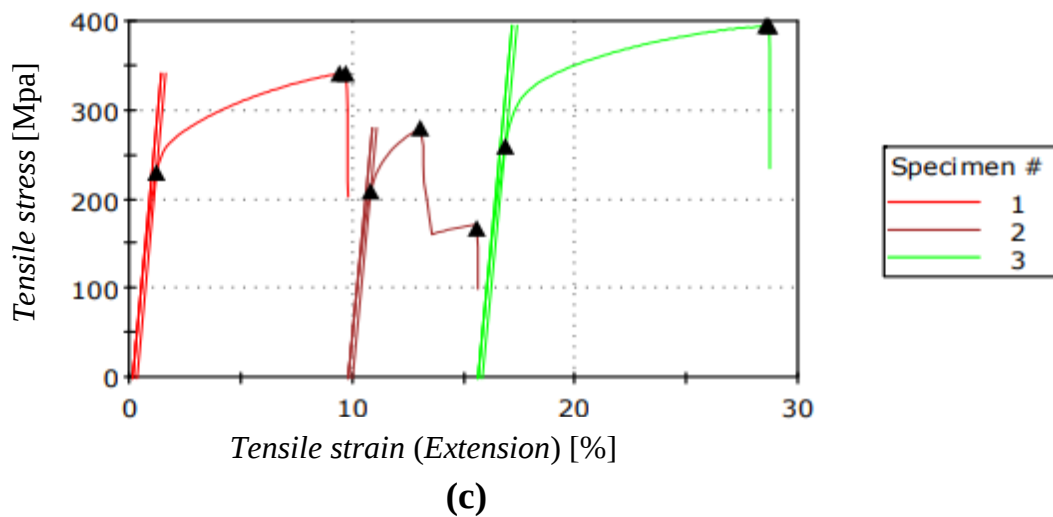
4.2.1 Pengaruh Penguat Terhadap Kuat Tarik



(a)



(b)



Gambar 4.1 Kurva Stress vs Strain Variasi 1 Siklus

(a), 2 Siklus (b), dan 3 siklus (c)

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 bahwa sampel dengan variasi 1 siklus menghasilkan kenaikan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) yang cukup signifikan dari nilai UTS *standard* paduan AA 7075 sebesar 220 MPa menjadi 410,39 MPa untuk penguat *hybrid*, kemudian diikuti dengan penguat SiC dan Al₂O₃ yang berturut-turut bernilai 394,89 MPa dan 380,55 MPa dari ketiga penguat yang digunakan pada percobaan 1 siklus pengerolan menghasilkan kenaikan nilai UTS dari nilai UTS *standard* AA 7075. Kemudian pada sampel dengan variasi 2 siklus pengerolan, nilai UTS masing-masing sampel mengalami kenaikan yang signifikan dimana nilai tertinggi sebesar 464,32 MPa dengan penguat SiC, dan diikuti dengan penguat Al₂O₃ dan *Hybrid* dengan nilai berturut-turut 349,74 MPa dan 334,63 MPa. Kemudian pada

percobaan dengan variasi 3 siklus pengerolan menghasilkan nilai UTS tertinggi sebesar 394,69 MPa dengan penguat *hybrid*, dilanjutkan dengan Al_2O_3 dan SiC berada di bawahnya dengan nilai 341,51 MPa dan 280,35 MPa.

Pada semua sampel yang dilakukan pengujian Tarik mengalami peningkatan nilai UTS dengan nilai persen elongasi rata-rata sebesar 8,8% terhadap semua sampel, hal ini sesuai dengan nilai persen elongasi dari teori rata-rata sebesar 10% untuk material AA 7075 (ASTM B209, 2014), Peningkatan nilai UTS tertinggi dihasilkan pada sampel dengan variasi 2 siklus dengan penguat SiC sebesar 464,32 MPa, hal ini disebabkan karena dislokasi yang meningkat karena adanya mekanisme *strain hardening* yang dihasilkan setelah adanya proses *forging* dan *rolling* [18]. Dimana *strain hardening* merupakan salah satu mekanisme penguatan yang dihasilkan dari proses ARB [24]. Mekanisme ini terjadi karena adanya deformasi plastis yang dihasilkan saat proses ARB, sehingga mengakibatkan distorsi kisi yang akan membuat dislokasi bergerak dan terjadi penumpukan dislokasi [18]. Selain mekanisme *strain hardening*, terdapat mekanisme penguatan lainnya yang memiliki kontribusi penting pada material komposit, yaitu adanya dispersi partikel keramik (Al_2O_3 dan SiC). Mekanisme ini menjelaskan bagaimana penguatan terjadi karena disperse partikel yang menyebabkan penumpukan dislokasi (*Orowan looping*) disekitar partikel [25]. Dispersi partikel merupakan mekanisme penguatan yang efektif, dimana penumpukan dislokasi ini secara efektif mengurangi jarak partikel rata-rata dan meningkatkan tegangan yang diperlukan untuk pergerakan dislokasi berikutnya [16]. Kontribusi lain dari partikel partikel untuk mekanisme penguatan juga muncul dari perbedaan dalam

sifat yang dihasilkan dari matriks dan partikel. Karena partikel tidak dapat terdeformasi dan matriks berubah bentuk secara plastis, akan terjadi perbedaan nilai regangan yang dihasilkan antara partikel dan matriks [23]. Perbedaan nilai regangan ini menyebabkan pertumbuhan kembali dislokasi secara geometris pada matriks (antarmuka partikel-matriks) [16].

Dari hasil kurva uji tarik (Gambar 4.1) dapat kita lihat bahwa pada masing-masing variasi jumlah lapisan memiliki nilai UTS tertinggi dengan jenis penguat yang berbeda-beda. Pada sampel dengan variasi 2 siklus, sampel dengan penguat SiC memiliki nilai kuat tarik tertinggi, hal ini karena penambahan SiC dapat meningkatkan densitas dislokasi [18], kemudian berdasarkan sifat mekanik dari masing-masing penguat yang digunakan, penguat SiC menghasilkan nilai kekerasan dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan Al_2O_3 [21]. Pertambahan SiC sebagai penguat juga dapat meningkatkan kekerasan material dikarenakan SiC memiliki kemampuan ikatan (*bonding*) yang kuat dan tidak mudah mengalami pergeseran, sehingga dapat meningkatkan kekuatan *bonding* antara matriks dengan penguatnya [3]. Hasil yang dihasilkan sesuai dengan teori dimana nilai kekerasan yang dihasilkan terbesar diperoleh pada sampel 2 siklus dengan penguat SiC dengan nilai sebesar 161,45 HV.

Pada keseluruhan sampel, sampel dengan penguat SiC memiliki nilai UTS tertinggi dibanding penguat Al_2O_3 dan *hybrid* pada 1 dan 2 siklus pengerolan, berdasarkan hal tersebut, penggunaan partikel penguat SiC sangat efektif sebagai penguat, namun keefektifannya menurun pada pengerolan 3 siklus, Hal ini dapat

disebabkan oleh *fatigue* material aluminium AA 7075 setelah mengalami banyak siklus pengerolan, semakin banyak pengerolan dapat menyebabkan *fatigue* terhadap material yang diberi pembebanan secara berulang-ulang.

4.2.2 Pengaruh Penguat Terhadap Nilai Kekerasan

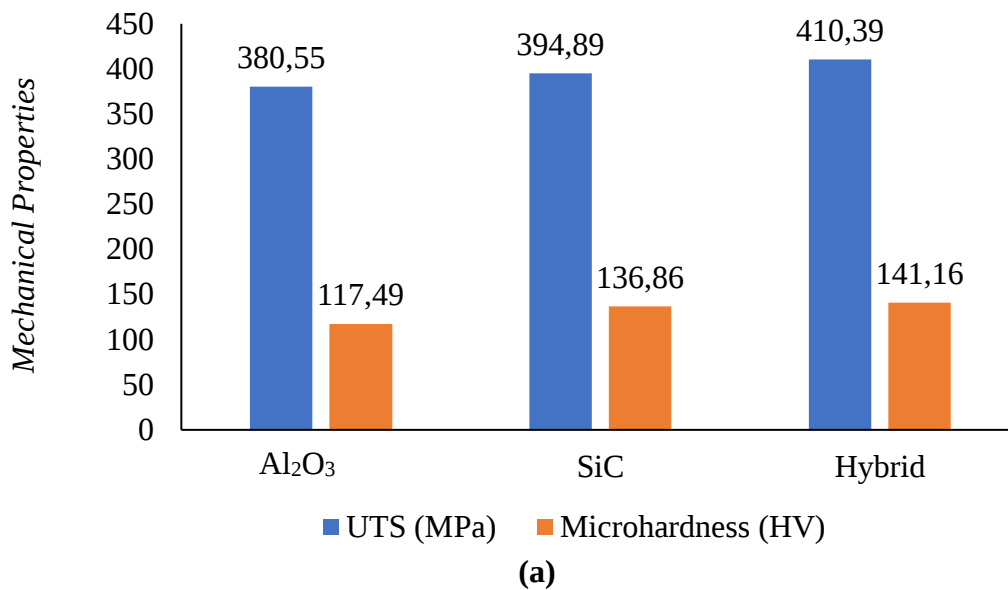
Pengujian kekerasan memperlihatkan hasil peningkatan kekerasan sebelum dan setelah prose *Accumulative Roll Bonding*. Nilai kekerasan ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

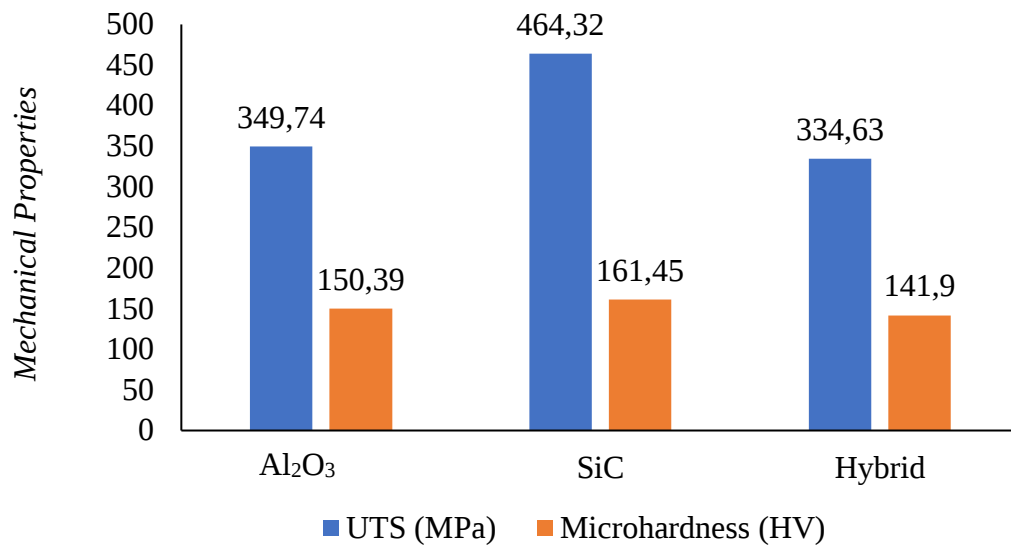
Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Komposit AA 7075 setelah proses ARB

Jumlah Siklus	<i>Reinforce</i>	<i>Microhardness</i> (HV)
1	Al ₂ O ₃	117,49
	SiC	136,86
	<i>Hybrid</i>	141,16
2	Al ₂ O ₃	150,39
	SiC	161,45
	<i>Hybrid</i>	141,9
3	Al ₂ O ₃	134,79

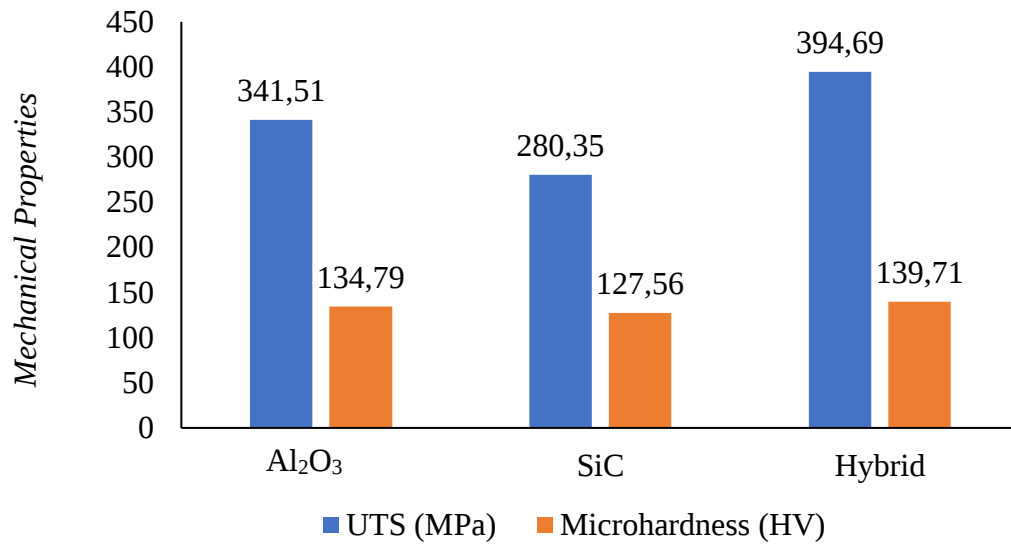
SiC	127,56
<i>Hybrid</i>	139,71

Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan mem-plot grafik nilai kekerasan (HV) yang dihasilkan dan nilai kuat tarik (UTS) untuk masing-masing siklus pengerolan yang dilakukan, hal ini bertujuan untuk memvalidasi hasil dari pengujian kuat tarik, karena pada dasarnya penambahan partikel *reinforce* dapat meningkatkan nilai kekerasan pada material komposit.





(b)



(c)

Gambar 4.3 Grafik Perbandingan UTS dan Kekerasan 1 siklus (a), 2 siklus (b), dan 3 siklus (c) ARB

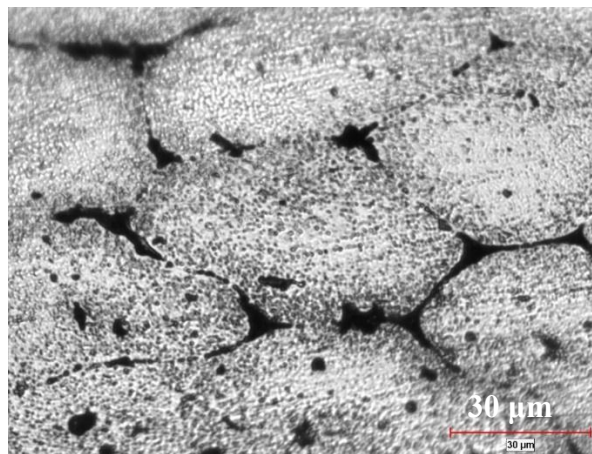
Pada Gambar 4.3 di atas nilai UTS tiap sampel yang diperoleh dilakukan perbandingan dengan nilai kekerasan yang didapatkan dengan membuat plot grafik *double axis* antara penguat (*reinforce*) terhadap nilai UTS dan nilai kekerasan untuk semua variasi jumlah siklus pengerolan (1, 2, dan 3 siklus). Untuk hasil nilai kekerasan tertinggi dihasilkan pada komposit AA 7075 dengan penguat SiC pada 2 kali siklus pengerolan dengan nilai kekerasan sebesar 161,45 HV. Dapat disimpulkan pada Gambar 4.3 bahwa seiring dengan meningkat atau menurunnya nilai UTS berbanding lurus dengan nilai kekerasan yang diperoleh. Hal ini penting bahwa dalam penelitian ini penguatan komposit tidak hanya berasal dari hasil mekanisme yang disebutkan diatas, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh peran jenis partikel penguat dalam matriks aluminium. Keseragaman partikel dalam matriks, dan juga kondisi ikatan antar aluminium sendiri dengan partikel penguatnya.

Nilai kekerasan yang dihasilkan pada setiap siklus pengerolan untuk setiap jenis penguat mengalami kenaikan dengan seiring bertambahnya jumlah siklus pengerolan, namun saat siklus pertama pengerolan, nilai kekerasan yang dihasilkan tidak begitu signifikan, hal ini dapat terjadi karena partikel penguat belum memberikan pengaruh yang signifikan, dikarenakan pada siklus pertama masih menyisakan cukup banyak porositas yang disebabkan oleh pergeseran partikel penguat karena adanya gaya tarik dari proses pengerolan [3]. Dengan kata lain berkurangnya porositas dapat meningkatkan nilai kekerasan yang dihasilkan [22]. Nilai kekerasan yang dihasilkan mengalami penurunan pada saat 3 kali siklus pengerolan dibandingkan dengan siklus kedua, hal ini dapat disebabkan beberapa faktor, antara lain, keseragaman partikel

dalam matriks, dan juga kondisi ikatan antar aluminium sendiri dengan partikel penguatnya, namun nilai kekerasan tetap dikatakan mengalami kenaikan jika dibandingkan aluminium monolitik AA 7075 itu sendiri.

4.2.3 Pengaruh Penguat Terhadap Struktur Mikro

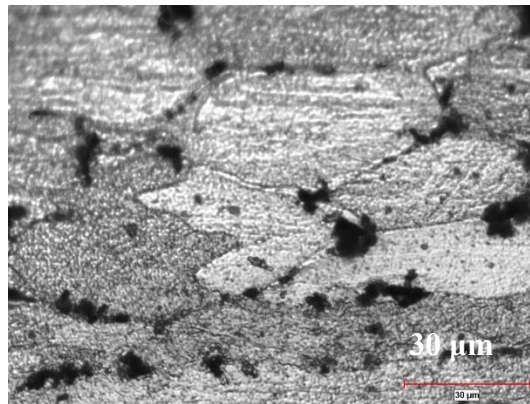
Pengamatan dengan mikroskop optic dilakukan untuk mengetahui ikatan yang terbentuk antara penguat dengan matriks, atau yang lebih dikenal dengan *interface*. Didapatkan beberapa gambar pada material yang mewakili hasil dari proses pengamatan morfologi. Hasil tersebut dapat dilihat pada beberapa Gambar di bawah ini:



Gambar 4.4 Morfologi 1 Siklus Al_2O_3 500x

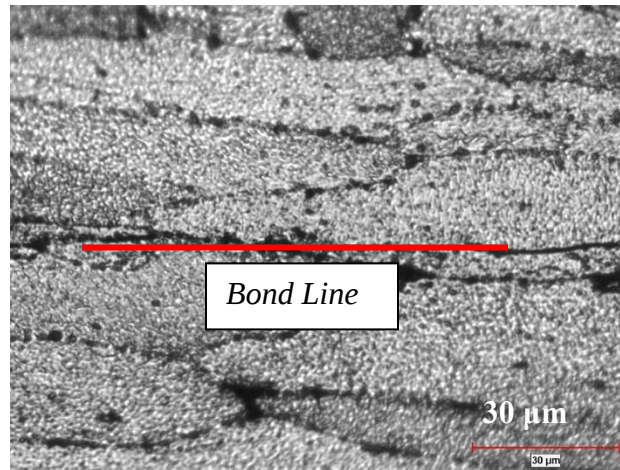
Dapat dilihat pada Gambar 4.4 dimana morfologi logam dengan 1 siklus penguat Al_2O_3 cenderung banyak memiliki void dan *microcrack*. Jika partikel Al_2O_3 tidak didistribusikan dengan merata di dalam lapisan komposit, maka daerah-daerah

yang kaya partikel mungkin mengalami tegangan yang lebih tinggi saat digulung, yang dapat memicu pembentukan retakan. Selain itu, Gaya antarmuka (*interface*) antara partikel Al_2O_3 dan matriks baja mungkin memiliki kekuatan yang lebih rendah, menyebabkan retakan atau void lebih mudah terbentuk di sekitar antarmuka ini.



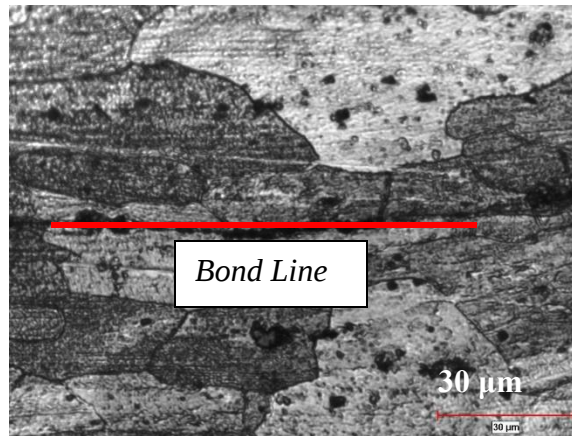
Gambar 4.5 Morfologi 1 Siklus SiC

Selanjutnya dilakukan analisa pada Gambar 4.5 dimana terdapat bentuk matiks dan penguat SiC. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa terdapat beberapa daerah dengan kontras warna yang berbeda. SiC memiliki daya pantul yang lebih tinggi daripada logam, yang dapat menyebabkan kontras warna. Penambahan partikel SiC pada logam dapat menciptakan kontras warna akibat perbedaan dalam reflektifitas kedua bahan tersebut.



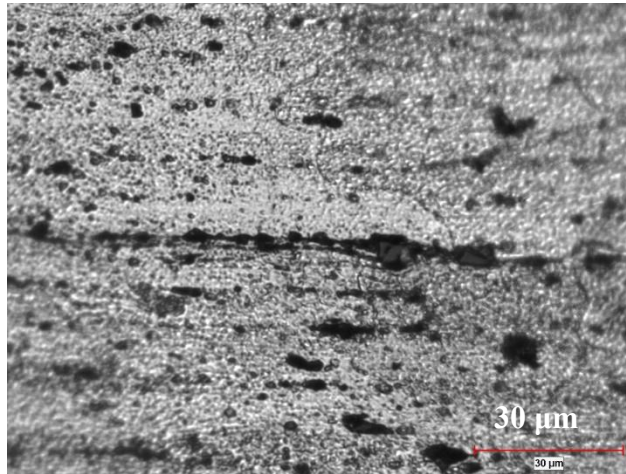
Gambar 4.6 Morfologi 1 Siklus *Hybrid*

Morfologi dari interface pada material komposit dengan metode ARB dapat mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan, hal ini dikarenakan morfologi menginterpretasikan sempurna atau tidaknya ikatan yang dihasilkan antara penguat dengan matriks. Pada Gambar 4.6 di atas didapatkan hasil bahwa dengan komposit hybrid, bentuk mikrostruktur cenderung lebih terdistribusi merata apabila dibandingkan dengan hanya menggunakan Al_2O_3 ataupun SiC . Hasil ini mengindikasikan bahwa morfologi dari antarmuka pada komposit hybrid memiliki karakteristik yang lebih homogen, di mana partikel penguat terdistribusi lebih merata dalam matriks logam. Morfologi antarmuka dalam komposit hasil ARB dapat memberikan pandangan visual yang penting mengenai kualitas ikatan antara matriks dan penguat. Distribusi yang merata dalam komposit hybrid menunjukkan potensi untuk meningkatkan ketahanan dan kinerja mekanik keseluruhan dari material tersebut.



Gambar 4.7 Morfologi 2 Siklus Al₂O₃

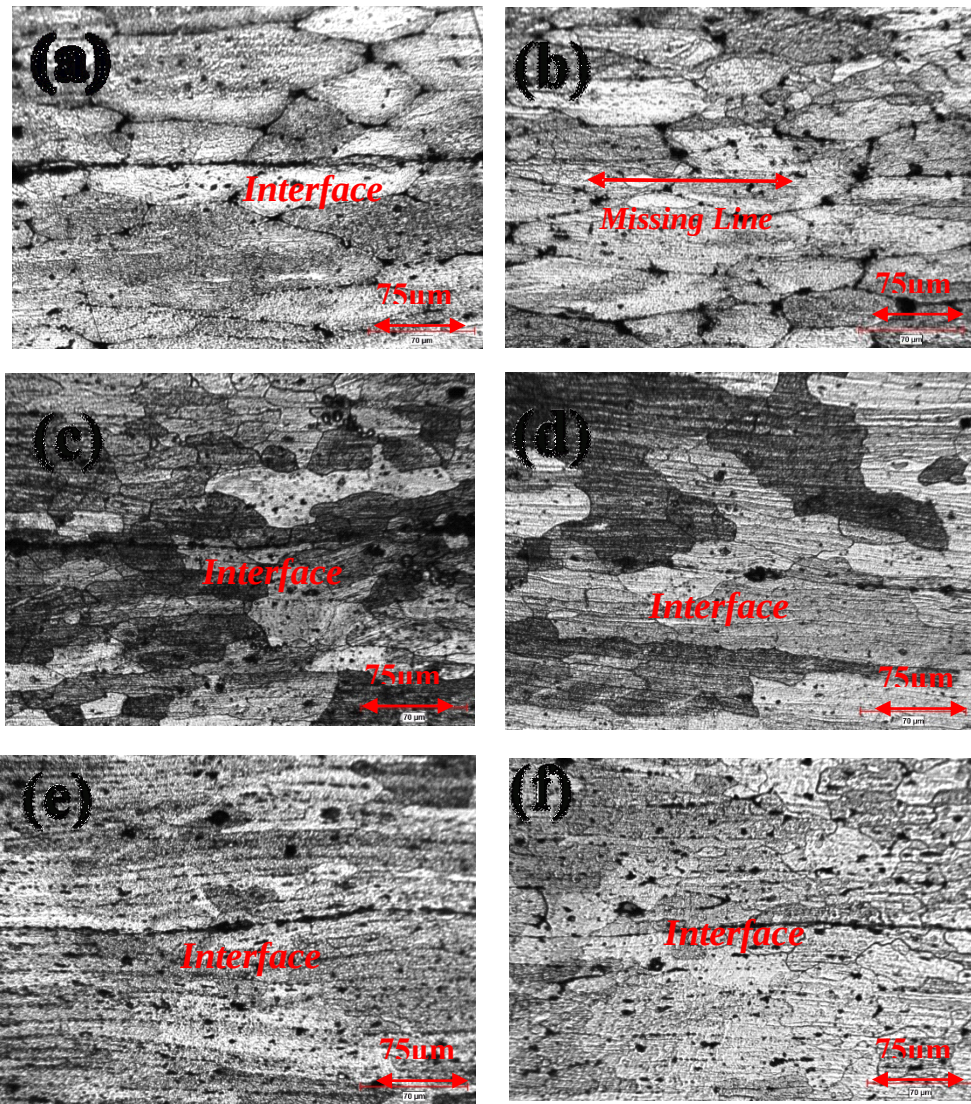
Pada gambar 4.7 di atas didapatkan hasil dari morfologi 2 siklus dengan penguat Al₂O₃. Dari gambar dapat dilihat bahwa batas butir cenderung menghilang dan butir cenderung menghalus. Hal ini sesuai literatur dimana peningkatan siklus ARB akan menghasilkan *grain refinement* dengan berkurangnya ukuran butir [19]. Selain itu, kontras perbedaan antara antarmuka bond line tidak terlihat berbeda secara signifikan.



Gambar 4.8 Morfologi 3 Siklus Al_2O_3

Pada Gambar 4.8 didapatkan hasil dari 3 siklus pengerolan ARB dengan penguat Al_2O_3 . Dari gambar ini dapat dihasilkan bahwa distribusi sangat homogen dan tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara matriks dengan penguat. Selain itu, didapatkan pula bahwa batas butir cenderung menghilang apabila dibandingkan dengan proses yang melibatkan 2 siklus. Kondisi *grain refinement* menghasilkan UFG dengan hilangnya batas butir ataupun batas butir yang menipis pada daerah *interface*. Hal ini dapat meningkatkan sifat mekanik dari material.

Selanjutnya dilakukan komparasi mengenai hasil mikrostruktur secara bertahap terhadap sifat mekanik yang dihasilkan, baik dari bentuk visual ataupun analisa fenomena yang terjadi. Dari beberapa gambar di atas, dirangkumlah menjadi satu buah gambar yang dapat dilihat sebagai komparasi atau perbandingan.



Gambar 4.9 Komparasi *Interface* Komposiit 1 siklus (a) Al_2O_3 , (b) SiC, 2 siklus (c)

Al_2O_3 , (d) Hybrid, 3 siklus (e) Al_2O_3 , (f) Hybrid.

Sampel dengan 1 siklus pengerolan dengan penguat SiC mengalami fenomena *missing line*. *Missing Line* merupakan fenomena hilangnya garis *interface* antara matriks dengan penguat karena adanya ikatan yang sempurna akibat proses pengerolan. Fenomena ini dapat mengakibatkan sifat mekanik yang dihasilkan menjadi lebih tinggi dari nilai mekanik awalnya [20]. Terbentuknya *missing line* menyebabkan penumpukan dislokasi akibat adanya ikatan antara matriks dan juga penguat, sehingga diperlukan tegangan yang lebih besar pada bagian tersebut untuk bisa terdeformasi. Selain itu tingginya hasil kuat tarik sampel dibuktikan juga dengan pengukuran *gap interface*, sebagai contoh sampel pada Gambar 4.9c dengan penguat Al_2O_3 memiliki nilai *gap interface* 1,63 μm yang dimana nilai kuat tarik yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan sampel pada Gambar 4.9d, sedangkan sampel pada Gambar 4.4d dengan penguat *hybrid* memiliki nilai *gap interface* sebesar 8,2 μm , hal ini sesuai dengan teori dimana semakin kecil rendah *gap interface* maka kuat tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi [20]. Pada Gambar 4.9e permukaan cendrung memiliki bentuk yang lebih kasar seperti *scratch* namun dengan ukuran butir yang hampir tidak terdeteksi. Selain itu, untuk Gambar 4.9f dimana merupakan komposit *hybrid* menghasilkan butir yang sangat halus.