

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Stir Casting*

Proses pembuatan komposit ini dimulai dengan metode *stir casting*, di mana Al 6061 dilebur dalam tungku pada suhu 900°C selama sekitar 45 menit. Setelah Al 6061 sepenuhnya mencair, dilakukan pengadukan dan penambahan Alumina (Al_2O_3) sebanyak 5% menggunakan alat pengaduk modifikasi dari bor tangan. Pengadukan dilakukan pada kecepatan 1500 rpm selama 3 menit. Dalam komposit ini, Al 6061 berfungsi sebagai matriks, sementara Alumina bertindak sebagai penguat. Alumina dipilih karena kekerasannya dan stabilitasnya yang baik.

Setelah Al 6061 yang sudah tercampur dengan Alumina (Al_2O_3) selesai dilebur, campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang sebelumnya telah dipanaskan. Pemanasan cetakan ini bertujuan untuk mencegah penurunan suhu yang drastis, yang dapat mengakibatkan keretakan pada hasil pengecoran. Leburan komposit dituangkan hingga ketinggian sampel melebihi tinggi cetakan, yang akan mempermudah proses selanjutnya. Ketika suhu sampel mendekati suhu ruangan, sampel tersebut dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan sedikit perapihan. Apabila sampel yang dihasilkan sesuai dengan bentuk cetakan tanpa adanya retak atau patahan, maka proses *stir casting* dianggap berhasil.

Tabel 4.1 Berat Paduan Komposit

| Paduan Komposit Aluminium berpenguat Alumina | | | | | |
|----------------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| No | Nomor Sampel | Aluminium Al 6061 (g) | Alumina (Al_2O_3) (g) | Persen Aluminium | Persen Alumina |
| 1 | Spesimen 1 | 281,51 | 14,11 | 95 % | 5 % |
| 2 | Spesimen 2 | 274,48 | 13,75 | 95 % | 5 % |
| 3 | Spesimen 3 | 288,45 | 14,53 | 95 % | 5 % |

4.2 *Thixoforming*

Aluminium Al 6061 yang telah dicampur dengan Alumina (Al_2O_3) dan sudah memadat kemudian dipotong untuk menghilangkan bagian-bagian yang berlebihan, seperti sisi-sisi sampel yang melebihi ukuran cetakan. Setelah itu, sampel tersebut dimasukkan kembali ke dalam cetakan dan ditempatkan dalam *muffle furnace* yang diatur pada suhu $620^\circ C$. Dari suhu awal *muffle furnace* yang berada pada suhu ruangan hingga mencapai $620^\circ C$ memerlukan waktu sekitar 30 menit. Pada suhu tersebut, komposit masih dalam kondisi *semi-solid* atau belum sepenuhnya mencair, yang dapat diamati dari hasil penekanan.

Ketika ruang bakar mencapai suhu $620^\circ C$, cetakan berisi komposit segera dikeluarkan dari *muffle furnace* dan ditempatkan pada mesin press dengan kekuatan 392 mpa dan ditahan dalam kondisi tersebut selama 5 menit. Setelah waktu tersebut tercapai, tekanan dilepaskan, dan cetakan beserta sampel didinginkan pada suhu ruangan. Dari hasil penekanan, tampak cairan komposit yang meluap membentuk pola melingkar, serta adanya pengurangan ketebalan pada sampel, yang menandakan bahwa sampel telah menerima tekanan dari mesin press. Dengan tekanan ini, diharapkan porositas pada hasil pengecoran akan berkurang atau bahkan hilang.

Tabel 4.2 Reduksi Ketebalan *Thixoforming*

| Reduksi Ketebalan pada Proses <i>Thixoforming</i> | | | | | |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|---------|--------------------------|------------------------------|
| No | Spesimen <i>Thixoforming</i> | Ketebalan (mm) | | Total Reduksi (mm) | Rata-Rata Reduksi (mm) |
| | | Sebelum | Sesudah | | |
| 1 | Spesimen 1 (10%) | 16,8 | 15,0 | 1,8 | 1,6 |
| 2 | Spesimen 2 (5%) | 15,8 | 14,9 | 0,9 | |
| 3 | Spesimen 3 (15%) | 16,4 | 14,4 | 2,0 | |

4.3 *Rolling*

Proses *rolling* merupakan metode deformasi plastis yang digunakan untuk mengurangi ketebalan spesimen dengan menerapkan tekanan melalui rol, proses pertama dalam melakukan *rolling* adalah dengan preparasi sampel dengan mengurangi ketebalan sampel dengan gerinda poles, proses ini

dilakukan karena mesin *rolling* yang digunakan memiliki kapasitas maksimum ketebalan sampel sebesar 11mm. Setelah dilakukan proses preparasi sampel, spesimen diukur menggunakan jangka sorong sebanyak 5 titik pengukuran. Setelah itu proses *rolling* dilakukan beberapa kali *rolling* dengan arah yang sama hingga mencapai ketebalan yang ditargetkan. Dalam penelitian ini, digunakan tiga variabel *rolling* dengan target reduksi ketebalan sebesar 5%, 10%, dan 15%.

Tabel 4.3 Pengukuran Ketebalan Sebelum Proses *Rolling*

| No | Persen Reduksi | Ketebalan Sebelum <i>Rolling</i> (mm) | | | | | |
|----|------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
| | | Titik 1 | Titik 2 | Titik 3 | Titik 4 | Titik 5 | Rata-rata ketebalan |
| 1 | Spesimen 1 (10%) | 10,7 | 10,2 | 10,6 | 10,5 | 10,8 | 10,6 |
| 2 | Spesimen 2 (5%) | 10,3 | 10,3 | 10,5 | 10,3 | 10,6 | 10,4 |
| 3 | Spesimen 3 (15%) | 9,2 | 10,3 | 10,2 | 10,3 | 10,5 | 10,1 |

Tabel 4.4 Pengukuran Ketebalan Sesudah Proses *Rolling*

| No | Persen Reduksi | Ketebalan Sesudah <i>Rolling</i> (mm) | | | | | |
|----|------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
| | | Titik 1 | Titik 2 | Titik 3 | Titik 4 | Titik 5 | Rata-rata ketebalan |
| 1 | Spesimen 1 (10%) | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 |
| 2 | Spesimen 2 (5%) | 9,9 | 9,8 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |
| 3 | Spesimen 3 (15%) | 8,5 | 8,5 | 8,6 | 8,5 | 8,5 | 8,5 |

Tabel 4.5 Reduksi Ketebalan pada Proses *Rolling*

| No | Persen Reduksi | Ketebalan (mm) | | Total Reduksi (mm) | Persen Reduksi (%) |
|----|------------------|----------------|---------|--------------------|--------------------|
| | | Sebelum | Sesudah | | |
| 1 | Spesimen 1 (10%) | 10,6 | 9,6 | 1,0 | 9,4 % |
| 2 | Spesimen 2 (5%) | 10,4 | 9,9 | 0,5 | 4,8 % |
| 3 | Spesimen 3 (15%) | 10,1 | 8,5 | 1,6 | 15,8 % |

Pada spesimen pertama, yang ditargetkan mengalami reduksi 10%, ketebalan awalnya adalah 10,6 mm, dan setelah *rolling*, ketebalannya berkurang menjadi 9,6 mm, dengan persentase reduksi 9,4%. Spesimen kedua, yang diroll untuk mencapai reduksi 5%, memiliki ketebalan awal 10,4 mm, dan setelah *rolling*, ketebalannya berkurang menjadi 9,9 mm, dengan persentase reduksi 4,8%. Sedangkan spesimen ketiga, yang ditargetkan untuk reduksi 15%, memiliki ketebalan awal 10,1 mm, yang kemudian berkurang menjadi 8,5 mm setelah *rolling*, menghasilkan persentase reduksi 15,8%. Proses *rolling* ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis material seperti kekerasan dan kekuatan.

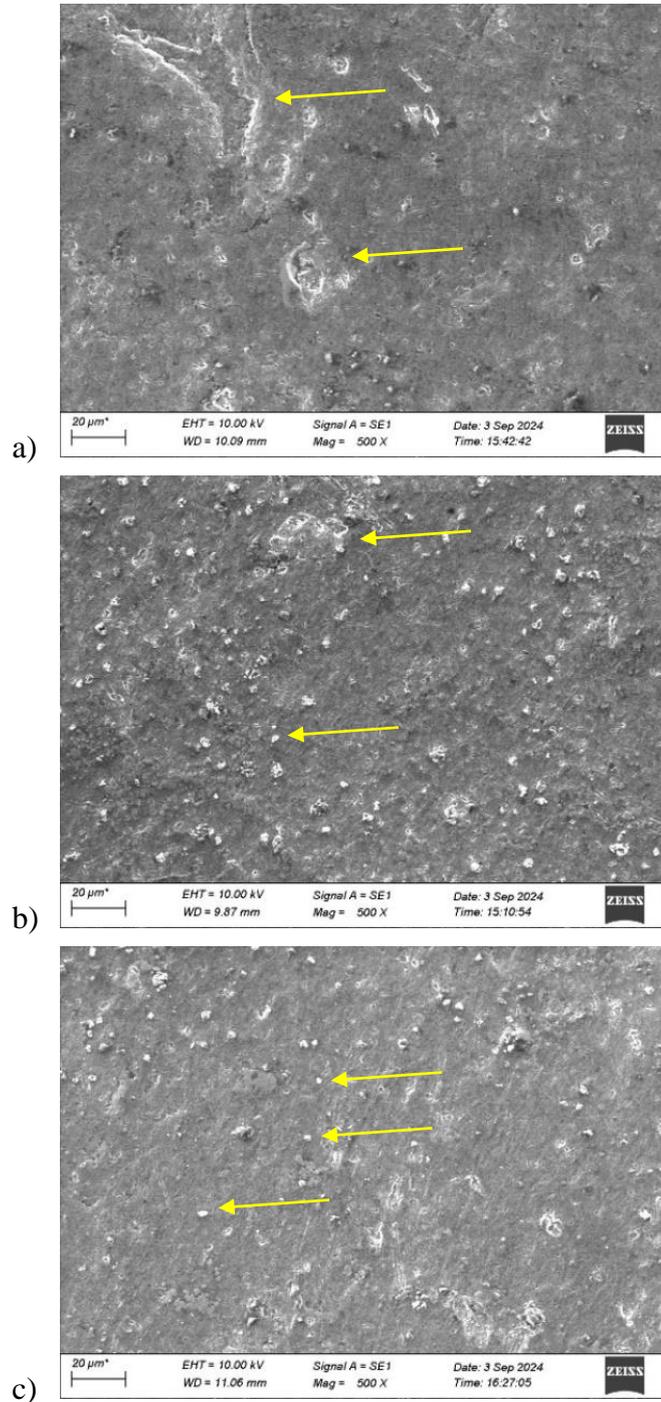
4.4 *Precipitation Hardening*

Pada proses *precipitation hardening*, terdapat tiga tahapan utama yang melibatkan perlakuan panas, yaitu *solutioning*, *quenching*, dan *artificial aging*. Tahap pertama, *solutioning*, dilakukan dengan memanaskan material hingga mencapai suhu 550°C untuk melarutkan partikel-partikel penguat ke dalam matriks logam, menciptakan larutan padat homogen. Setelah itu, material langsung didinginkan dengan cepat melalui proses *quenching* pada media air dengan suhu 1°C untuk mengunci struktur larutan padat tersebut, mencegah partikel-partikel penguat mengendap kembali. Tahap terakhir adalah *artificial aging*, di mana material dipanaskan pada suhu yang lebih rendah yaitu dengan suhu 190°C pada waktu 2 Jam. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengendapkan partikel penguat secara terkontrol, yang akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan material secara signifikan. Setelah semua tahapan ini dilakukan, spesimen memasuki tahap *machining* untuk membentuk spesimen agar memiliki dimensi yang sesuai dengan standar pengujian yang akan dilakukan.

4.5 Hasil Uji Struktur Mikro

Setelah proses reduksi ketebalan melalui *rolling* selesai dilakukan, pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan alat Zeiss EVO 10 *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengujian ini menghasilkan gambar dari SEM

yang memberikan visualisasi detail dari struktur mikro komposit, serta gambar dari *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX) yang memberikan informasi mengenai distribusi unsur pada sampel. Pengamatan ini difokuskan pada bagian atas (*top section*) dari sampel, untuk menganalisis persebaran penguat Alumina (Al_2O_3) dalam matriks Al 6061 pasca *rolling*.



Gambar 4.1 Uji SEM perbesaran 500×

a) Reduksi 5%, b) Reduksi 10%, dan c) Reduksi 15%

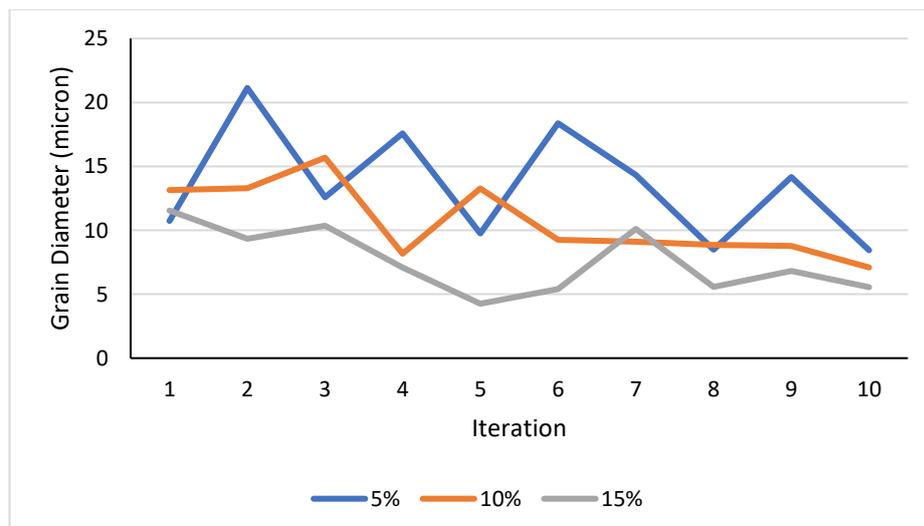
Persentase reduksi pada proses *rolling* berpengaruh signifikan terhadap struktur butir material. Semakin tinggi persentase reduksi, material mengalami deformasi plastis yang lebih besar, sehingga menyebabkan perpanjangan butir-butir dan peningkatan tekstur arah tertentu (*preferred orientation*).

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 (a) bahwa batas butir masih tampak pada permukaan. Jarak antara butir masih dalam nilai yang tergolong cukup besar. Namun, seiring dengan meningkatnya persen reduksi menjadi 10%, ditampilkan pada Gambar 4.1 (b) bahwa batas butir semakin menghilang hingga mencapai persen reduksi 15% pada Gambar 4.1 (c). Hal ini sesuai dengan literatur [16] yang menyatakan bahwa seiring dengan meningkatnya persentase *rolling*, maka terjadi proses *Dynamic Recrystallization* (DRX) dimana terjadi pembentukan butir baru akibat deformasi. Hal ini menyebabkan butir-butir menjadi lebih halus. Selain itu, dilakukan Analisa untuk mengetahui distribusi butir pada sampel. Diperoleh nilai distribusi sebagaimana Tabel dan Grafik di bawah ini

Tabel 4.6 Distribusi Butir Sampel

| Sampel | Micron (μm) | | | |
|--------|--------------------------|------------|-------------|---------------|
| | <i>Min</i> | <i>Max</i> | <i>Mean</i> | <i>St.Dev</i> |
| 5% | 8.441 | 21.137 | 13.5567 | 4.384617 |
| 10% | 7.095 | 15.681 | 10.6659 | 2.889069 |
| 15% | 4.257 | 11.545 | 7.6068 | 2.531544 |

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa seiring dengan meningkatnya persen reduksi *rolling*, maka nilai dari rata-rata diameter butir juga cenderung menurun hingga 56% dari nilai 13.5 μm menjadi 7.6 μm . Hal ini diakibatkan oleh adanya fenomena *grain refinement* yang diakibatkan oleh adanya deformasi. Fenomena ini menghasilkan rekristalisasi dan membentuk butir yang lebih halus dalam sisi morfologi [17]



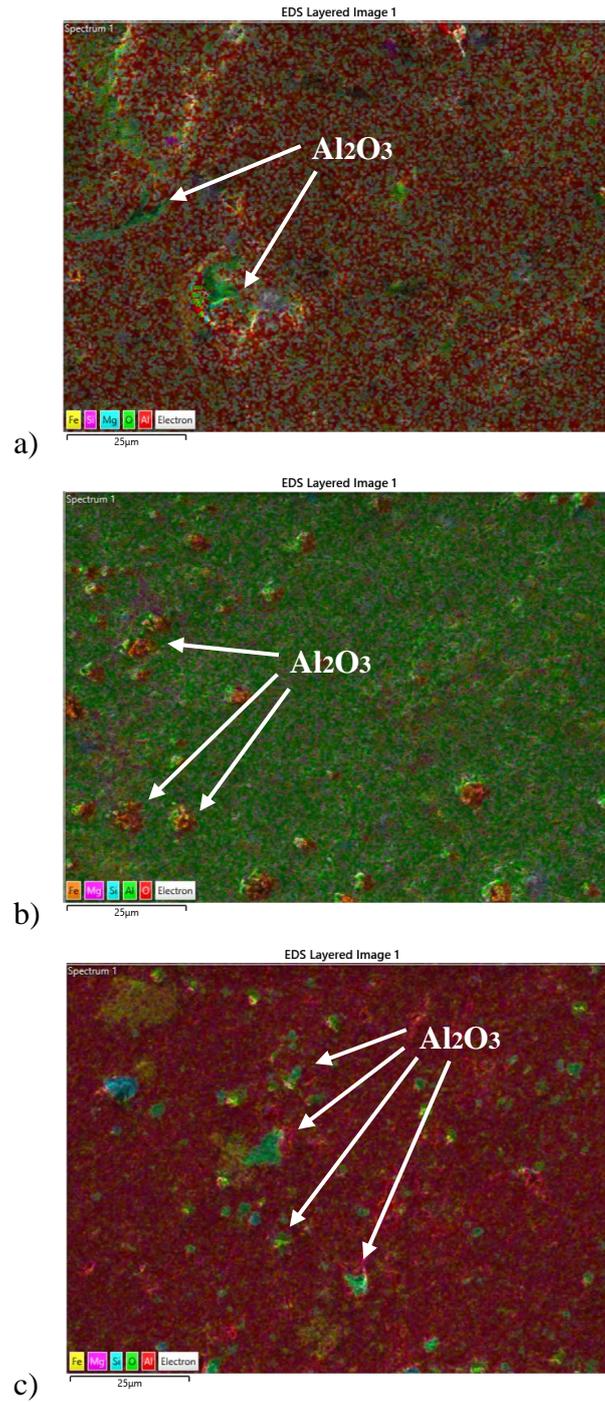
Gambar 4.2 Hasil Iterasi Pengukuran Butir dengan *Software ImageJ*

Selain itu dapat dilihat pula bahwa standar deviasi cenderung menurun seiring dengan meningkatnya reduksi sampel dari nilai 5% sebesar 4,3 μm menjadi 2,8 μm pada 10% reduksi, dan 2,5 μm pada 15% reduksi, standar deviasi dihitung menggunakan Rumus 4.1. Hal ini juga diperkuat oleh hasil pengukuran iterasi dengan *software ImageJ* yang ditampilkan pada Gambar 4.2. Fenomena ini disebut homogenisasi dimana ukuran butir cenderung menyusut dan berada pada *range* yang hampir homogen dengan ditandai oleh standar deviasi yang menurun.

Pada sampel terdapat variasi persentase berat unsur melalui analisa EDX, diketahui variasi berat unsur sebagaimana tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4.7 Hasil Uji EDX

| % wt | 5% | 10% | 15% |
|--------------|-------|-------|-------|
| O | 11.23 | 10.39 | 10.62 |
| Mg | 0.68 | 0.67 | 0.63 |
| Al | 83.97 | 85.1 | 83.87 |
| Si | 2.98 | 2.05 | 3.28 |
| Mn | 0.66 | 0 | 0.34 |
| Fe | 0.49 | 1.78 | 1.26 |
| Total | 100 | 100 | 100 |



Gambar 4.3 Mapping Uji EDX

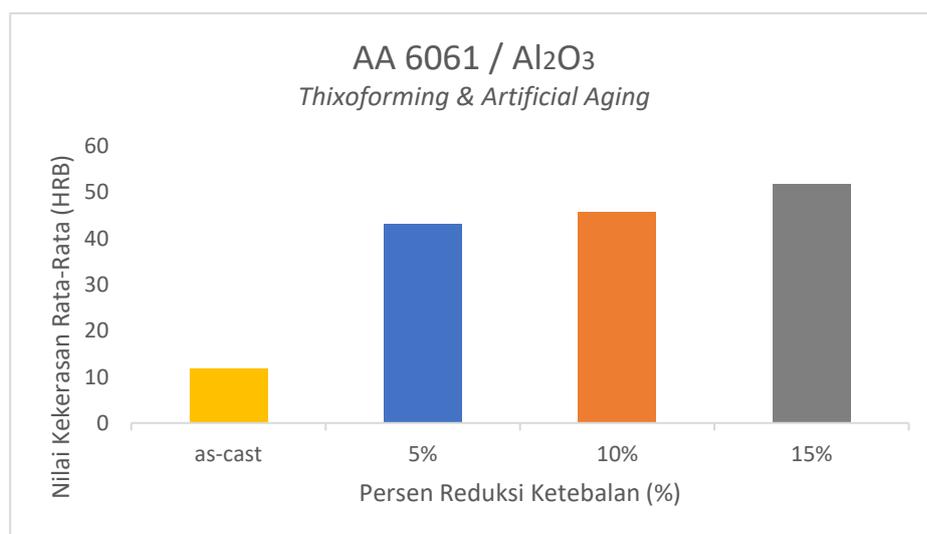
a) Reduksi 5%, b) Reduksi 10%, dan c) Reduksi 15%

4.6 Hasil Uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan menunjukkan perbedaan signifikan antara berbagai sampel. Untuk aluminium murni, nilai kekerasan rata-rata yang diperoleh adalah 11,8 HRB. Sampel dengan penambahan persen reduksi *rolling* 5% menunjukkan peningkatan kekerasan rata-rata menjadi 43,1 HRB. Peningkatan kekerasan lebih lanjut terlihat pada sampel dengan persen reduksi *rolling* 10%, yang memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 45,7 HRB. Sampel dengan persen reduksi *rolling* 15% menunjukkan peningkatan kekerasan yang paling tinggi, dengan nilai rata-rata mencapai 51,8 HRB. Data ini mengindikasikan bahwa penambahan persentase persen reduksi *rolling* secara signifikan meningkatkan kekerasan material.

Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan AA 6061 & Alumina

| Hasil Pengujian Kekerasan | | | | | |
|---------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------|
| No | Persen Reduksi | Titik 1 (HRB) | Titik 2 (HRB) | Titik 3 (HRB) | Nilai Kekerasan Rata-Rata (HRB) |
| 1 | as-Cast | 13,3 | 9,3 | 12,7 | 11,8 |
| 2 | 5% | 40,3 | 46,5 | 42,4 | 43,1 |
| 3 | 10% | 45,7 | 47,3 | 44,2 | 45,7 |
| 4 | 15% | 51,4 | 50,6 | 53,5 | 51,8 |



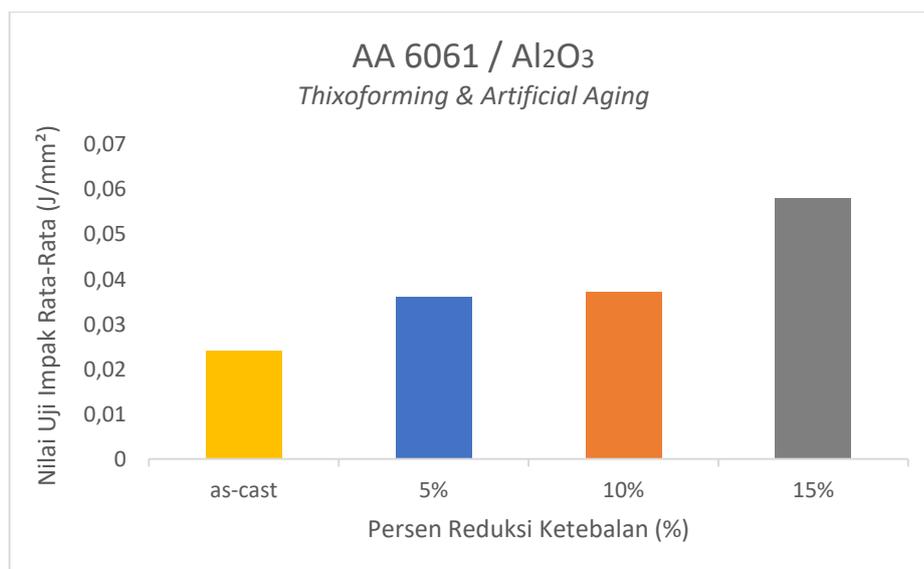
Gambar 4.4 Grafik Uji Kekerasan AA 6061 & Alumina

4.7 Hasil Uji Impak

Hasil uji impak menunjukkan variasi nilai ketangguhan material berdasarkan persentase persen reduksi *rolling* yang digunakan. Untuk aluminium murni, nilai impak rata-rata yang diperoleh adalah 0,024 J/mm². Pada sampel dengan persen reduksi *rolling* 5% nilai impak rata-rata meningkat menjadi 0,036 J/mm². Peningkatan kecil terlihat pada sampel dengan persen reduksi *rolling* 10% dengan nilai impak rata-rata 0,0372 J/mm². Namun, peningkatan signifikan terjadi pada sampel dengan persen reduksi *rolling* 15% yang memiliki nilai impak rata-rata sebesar 0,0581 J/mm².

Tabel 4.9 Hasil Uji Impak AA 6061 & Alumina

| Nilai Uji Impak | | | | | | | |
|-----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| No | Persen Reduksi | Uji 1 (J) | Uji 2 (J) | Uji 3 (J) | Energi rata-tata (J) | Luas Penampang (mm ²) | Nilai Uji Impak (J/mm ²) |
| 1 | As-Cast | 2,7 | 2,1 | 2,3 | 2,37 | 100 | 0,024 |
| 2 | 5% | 3,2 | 3,8 | 3,8 | 3,6 | 100 | 0,036 |
| 3 | 10% | 1,8 | 4,5 | 4,4 | 3,6 | 96 | 0,0372 |
| 4 | 15% | 5 | 5,1 | 4,9 | 5 | 86 | 0,0581 |



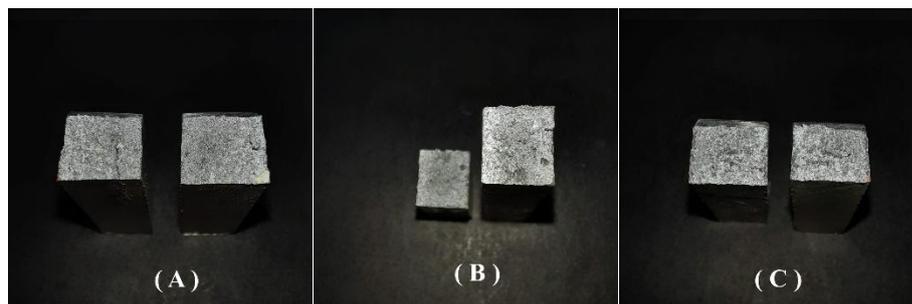
Gambar 4.5 Grafik Uji Impak AA 6061 & Alumina

Pada sampel dengan persen reduksi *rolling* 10% pada pengujian pertama menunjukkan bahwa terdapat *defect crack* pada spesimen yang menyebabkan kenaikan nilai impact yang relatif kecil dibandingkan dengan persentase persen reduksi *rolling* lainnya. *Defect* tersebut berkontribusi pada penurunan performa material dalam menyerap energi saat terkena beban impact sehingga pada pengujian impact titik patahan tidak pada *v-groove* yang dibuat, melainkan patah pada *defect crack* tersebut. Hal ini membuat grafik yang dihasilkan tidak berbanding lurus terhadap persen reduksi *rolling* yang digunakan.



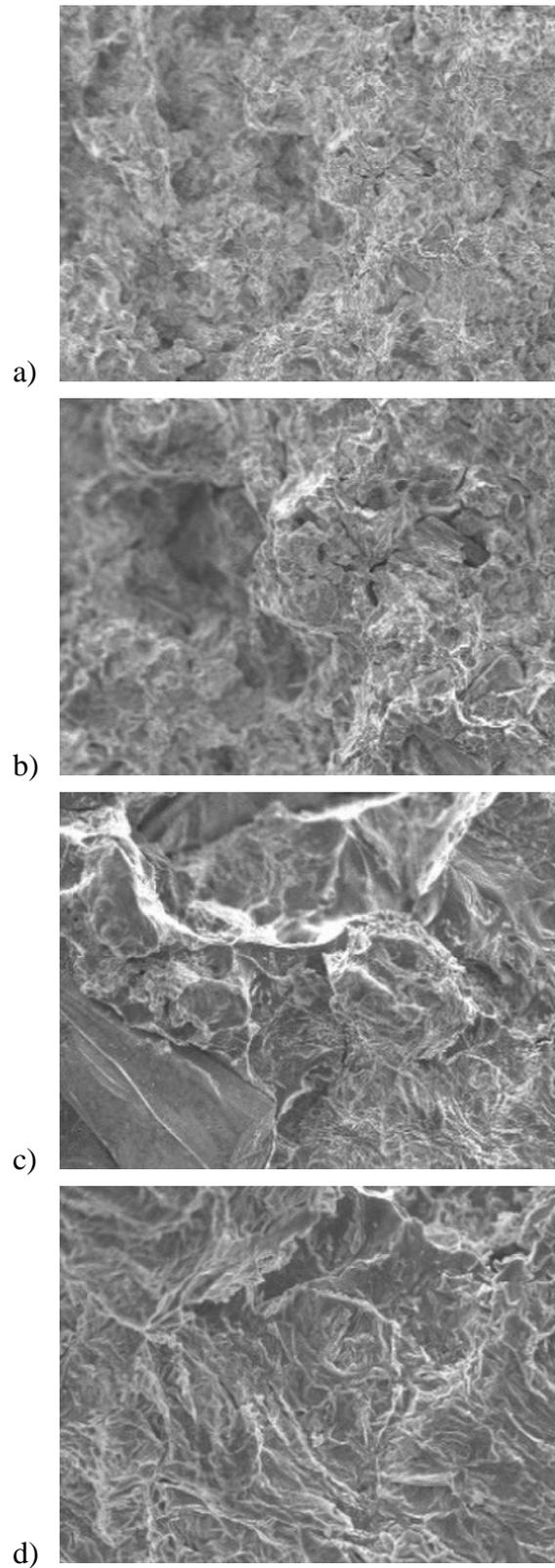
Gambar 4.6 Defect pada spesimen uji impact

Hasil patahan menunjukkan fraktur getas (Gambar 4.7) karena material telah melalui proses-proses seperti *thixoforming*, *rolling*, dan *artificial aging*. Proses ini meningkatkan kekerasan dan kekakuan material, namun mengurangi kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis. Berikut adalah gambar hasil patahan pada uji impact.



Gambar 4.7 Hasil patahan pada uji impact

a) Reduksi 5%; b) Reduksi 10%; c) Reduksi 15%



Gambar 4.8 Permukaan Patahan Uji Impak Variasi Reduksi 15% dengan SEM

a) Perbesaran 25×, b) Perbesaran 50×, c) Perbesaran 200×,
dan d) Perbesaran 500×

Pada patahan uji impak yang dilakukan perbesaran menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran Perbesaran 25×, 50×, 200×, dan 500×. Dapat disimpulkan bahwa patahan yang terjadi pada komposit Aluminium Al 6061 bersifat getas. Hal ini ditandai oleh sedikit dimple, permukaan patahan yang relatif halus, dan adanya fitur-fitur seperti batas butir yang jelas. Pada perbesaran 500x, terlihat dengan jelas bahwa batas butir memiliki peran penting dalam mekanisme patahan. Kemungkinan besar, patahan terjadi sepanjang batas butir (*intergranular fracture*), yang mengindikasikan adanya masalah pada ikatan antar butir atau segregasi elemen paduan pada batas butir.