

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan pada material hasil proses pembuatan komposit matrik logam dengan metode *semisolid* dan pembahasannya disampaikan pada bab ini.

#### 4.1 HASIL PENGUJIAN

##### 4.1.1 Perhitungan Fraksi Volume, Berat dan Densitas Komposit Teoritis

Tabel IV.1 Perhitungan densitas teoritis paduan

NO	Komposit	Unsur	%Volume	% Berat	Densitas	Densitas komposit
1	Al5Cu	Al	95	85,2	2,7	3,01
		Cu	5	14,8	8,9	
2	Al5Cu + 5%Al2O3	Al5Cu	95	93,5	3,01	3,06
		Al2O3	5	6,5	3,95	
3	Al5Cu + 10%Al2O3	Al5Cu	90	87,3	3,01	3,10
		Al2O3	10	12,7	3,95	
4	Al5Cu + 15% Al2O3	Al5Cu	85	81,2	3,01	3,15
		Al2O3	15	18,8	3,95	
5	Al5Cu + 20% Al2O3	Al5Cu	80	75,3	3,01	3,20
		Al2O3	20	24,7	3,95	

Sebelum melakukan peleburan dan pencampuran komponen komposit maka perlu dihitung jumlah Al5Cu, alumina dan magnesium untuk masing-masing komposisi komposit. Data mengenai perhitungan berat disajikan pada tabel berikut.

Tabel IV.2 Perhitungan Berat Paduan

NO	Fraksi Volume Alumina	Berat (gram)			
		Al5Cu	Al2O3	Mg	komposit
1	5 %	945,4	65,72	40,44	1011,12
2	5 %	943,8	65,61	40,37	1009,41
3	10 %	1069	155,51	48,98	1224,51
4	10 %	1209	175,88	55,39	1384,87
5	15 %	1156	267,64	56,94	1423,64
6	15 %	1163	269,26	57,29	1432,26
7	20 %	844,2	276,91	44,84	1121,116
8	20 %	844	276,85	44,83	1120,84

#### 4.1.2 Analis Kimia

Hasil pengujian kimia terhadap material magnesium, alumina, aluminium tembaga dapat dilihat pada tabel 5 – tabel 44.

Tabel IV.3 Komposisi Kimia Ingot Aluminium Tembaga hasil cor

NO	Unsur, % berat					
	Al	Cu	Mg	Fe	Si	Zn
1	92,8	4,98	0,216	0,477	0,934	0,251
	Unsur, % berat					
	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Mn
2	0,0177	< 0,001	0,0234	0,0326	0,0458	0,0774

Untuk mengetahui unsur penyusun serbuk alumina yang digunakan sebagai penguat, telah dilakukan pengujian dengan XRF dengan hasil sebagai berikut. Dari pengujian tersebut diketahui unsur-unsur yang terdapat pada serbuk alumina adalah :



Gambar 4.1 Hasil uji XRF terhadap serbuk Alumina

Tabel IV.4 Komposisi kimia serbuk alumina

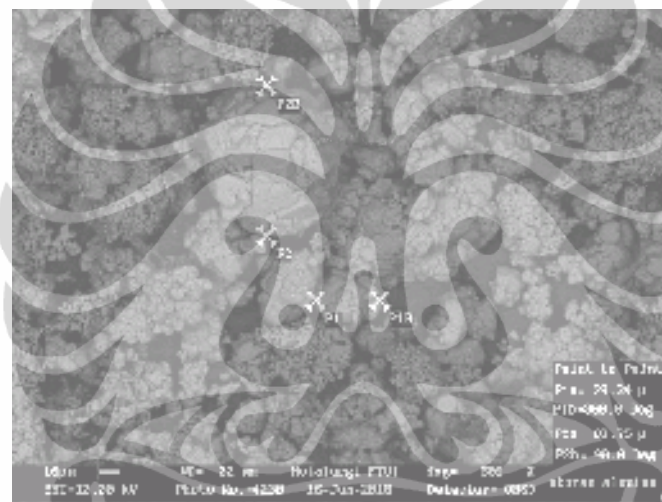
NO	Unsur, % berat		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	99,6056	0,2581	0,1363

Tabel IV.5 Komposisi kimia ingot magnesium

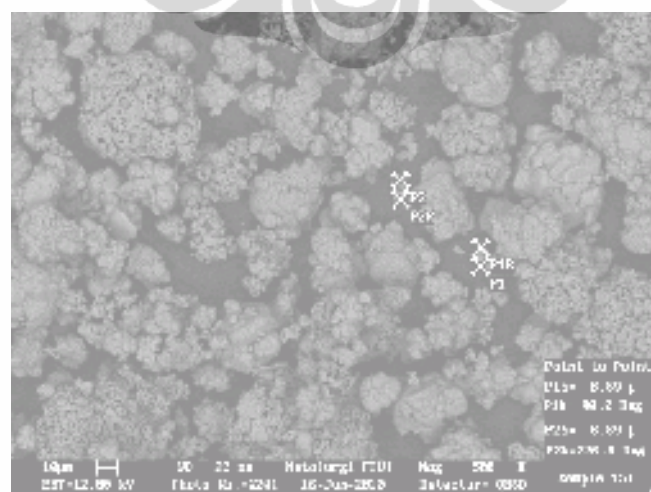
NO	Unsur, % berat				
	Mg	Al	Mn	Si	Cu
1	99.91	0.019	0,014	0.02	0.0025
	Unsur, % berat				
	Fe	Ni	Cl	Pengotor lain	Total Pengotor
2	0.015	0.0007	0.004	0.0148	0.09

#### 4.1.3 Hasil Pengukuran Butir Partikel Alumina dengan SEM

Ukuran butir partikel alumina diukur dengan menggunakan pengujian SEM sebagaimana berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.2. (a), (b), Pengukuran butir serbuk alumina dengan SEM

Berdasarkan pengukuran pada gambar mm diketahui bahwa ukuran partikel alumina berada pada rentang 8,89 - 68,75  $\mu\text{m}$

#### **4.1.4. Hasil Uji Kekerasan**

Pengujian kekerasan pada sampel hasil *casting*, *thixoforming* dan *thixoforming* yang dilanjutkan *heat treatment* T6 dilakukan dengan menggunakan standar pengujian Brinnell, pengujian dilakukan pada tiga titik berbeda sebagaimana pada lampiran 1, adapun hasil uji kekerasan ditampilkan pada gambar 4.27 dan 4.28.

#### **4.1.5. Hasil Uji Laju Keausan**

Pengujian keausan pada sampel hasil *casting*, *thixoforming* dan *thixoforming* yang dilanjutkan *heat treatment* T6 dilakukan dengan menggunakan standar pengujian keausan Ogoshi, pengujian dilakukan pada tiga titik berbeda sebagaimana pada lampiran 2, adapun hasil uji keausan ditampilkan pada gambar 4.31 dan 4.32.

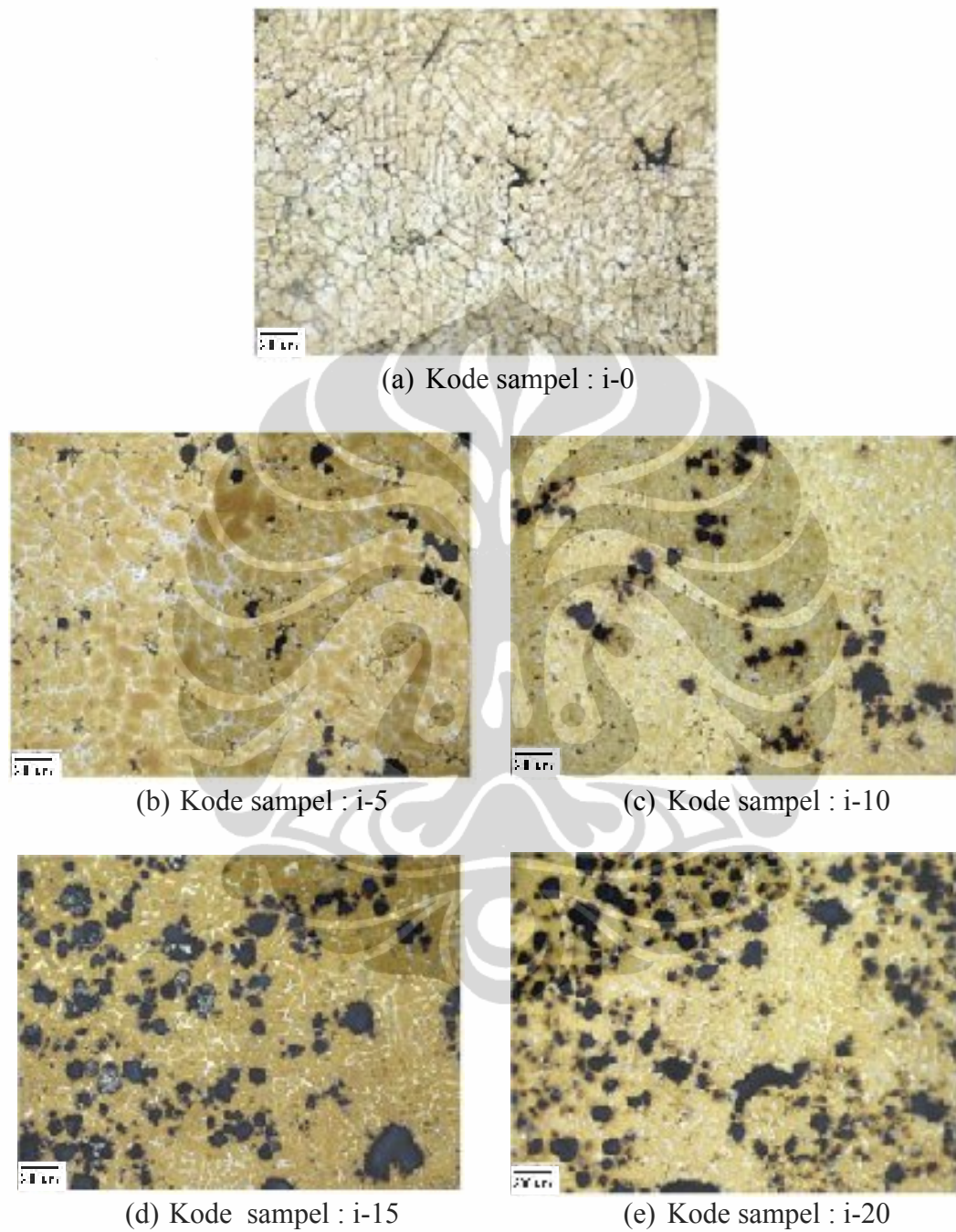
#### **4.1.6. Hasil Uji Berat Jenis dan Porositas**

Pengujian berat jenis pada sampel hasil *casting* dan *thixoforming* dan perhitungan *thixoforming* dibandingkan dengan berat jenis teoritis dapat diamati pada gambar 4.29. Adapun hasil uji porositas dari ingot komposit dan hasil *thixoforming* ditampilkan pada gambar 4.30.

#### **4.1.7. Hasil Uji Tarik**

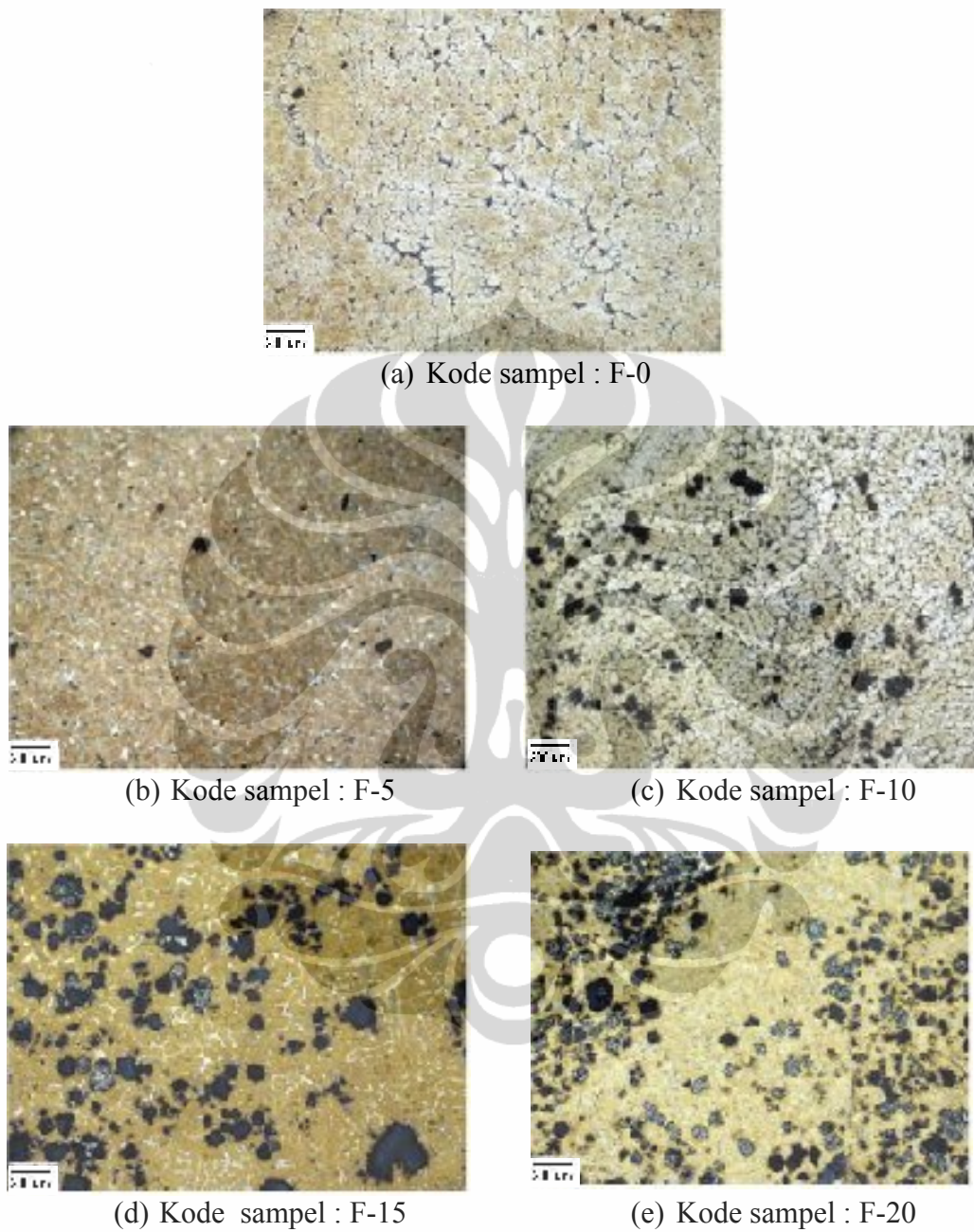
Pengujian tarik terhadap sampel uji tarik dilakukan di BATAN Serpong. Hasil pengujian secara lengkap dipaparkan pada lampiran 3.

#### 4.1.8 Distribusi Alumina didalam matrik Al5Cu

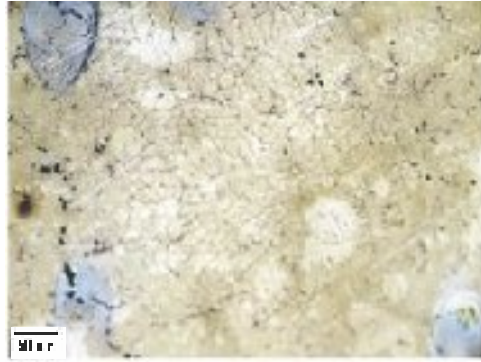


Gambar 4.3 Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil *casting* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$

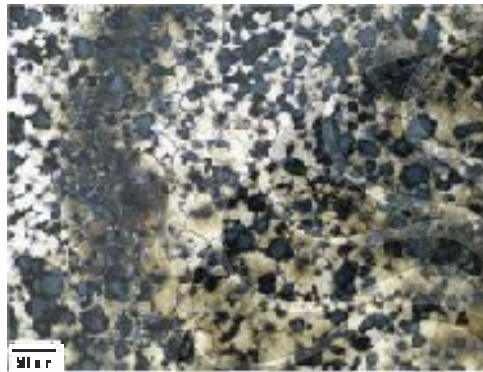




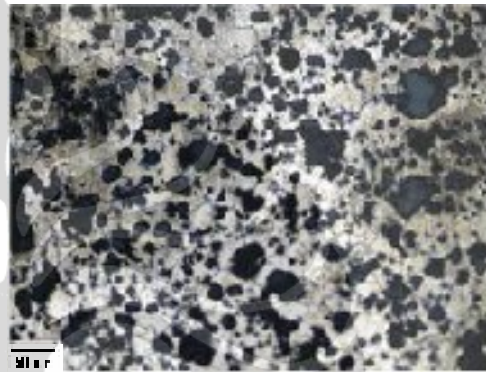
Gambar 4.4 Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil *thixoforming* tanpa *aging* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$



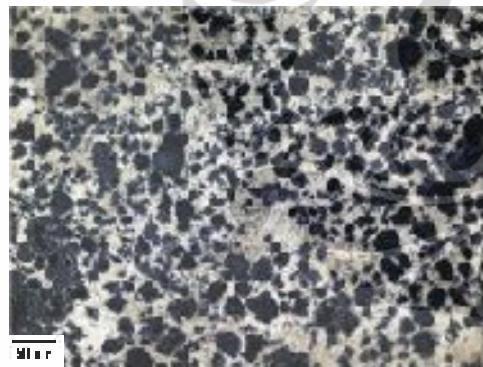
(a) Kode sampel : F-0/16



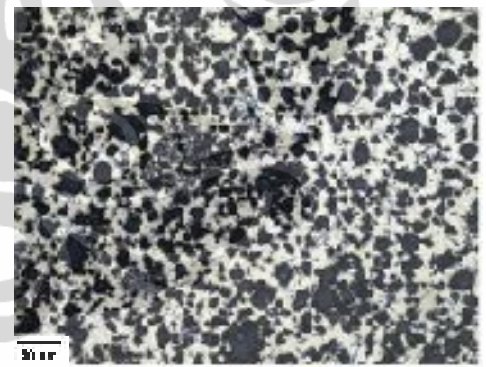
(b) Kode sampel : F-5/16



(c) Kode sampel : F-10/16



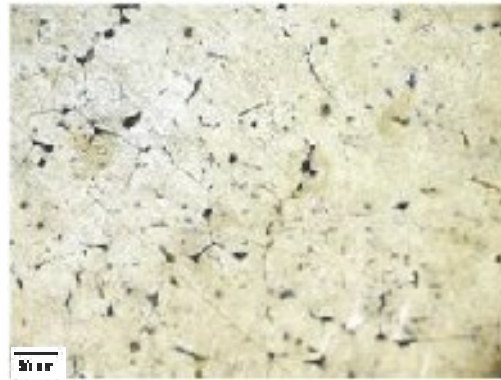
(d) Kode sampel : F-15/16



(e) Kode sampel : F-20/16

Gambar 4.5 Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil *thixoforming* dan *Aging* 16 jam dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$

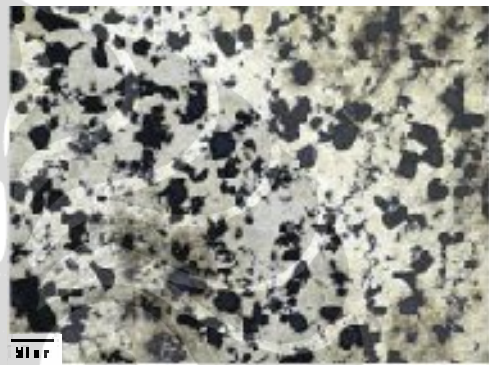




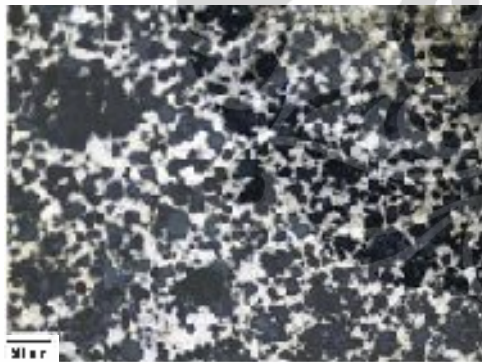
(a) Kode sampel : F-0/28



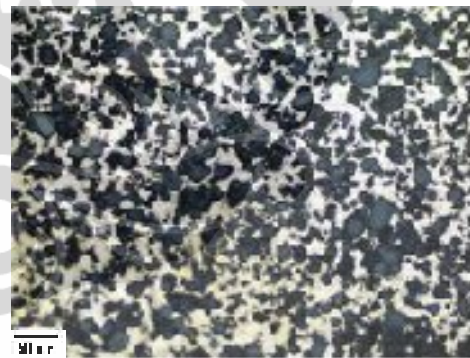
(b) Kode sampel : F-5/28



(c) Kode sampel : F-10/28



(d) Kode sampel : F-15/28



(e) Kode sampel : F-20/28

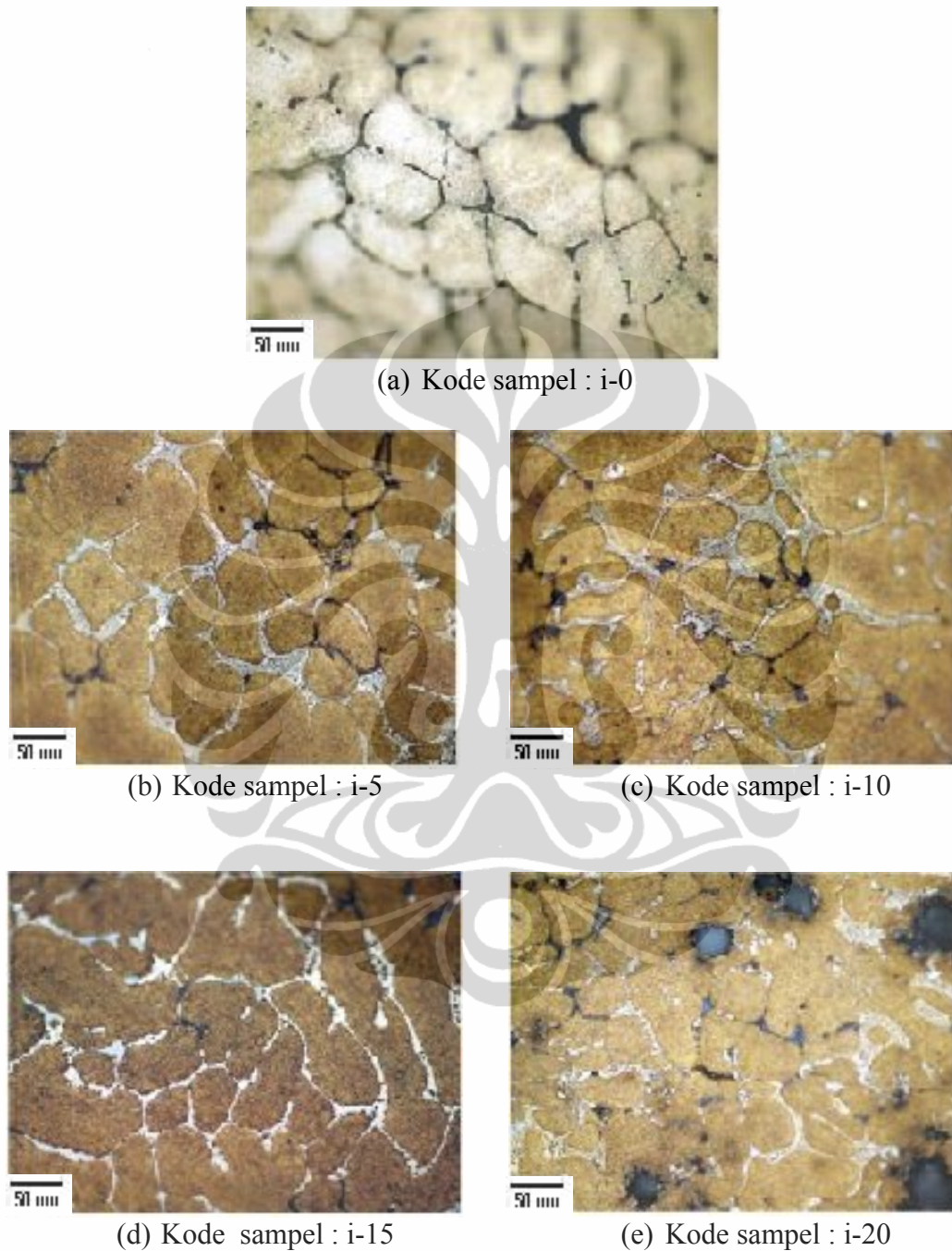
Gambar 4.6 Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil *Thixoforming* dan *aging* 28 jam dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$

#### 4.1.9 Hasil Pengamatan Metalografi

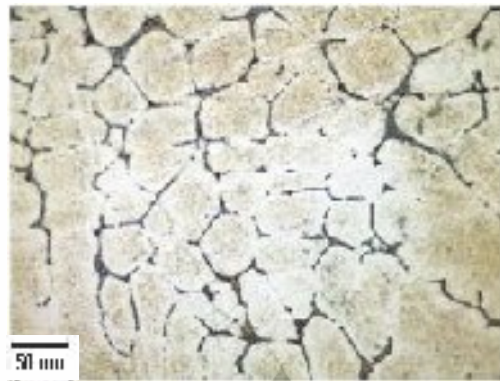
Pengujian Metalografi dilakukan dengan mikroskop optik. Pengujian ini dilakukan pada sampel hasil *casting*, *thixoforming* dan *thixoforming* yang



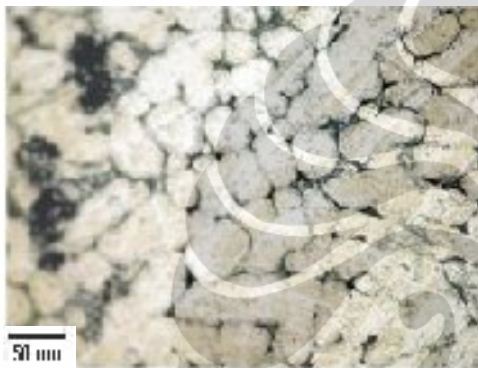
dilanjutkan *heat treatment* T6. Hasil foto mikrostruktur tersebut ditampilkan pada gambar 4.7 – 4.10.



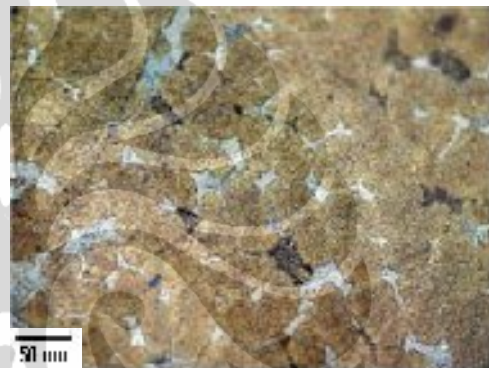
Gambar 4.7 Metalografi sampel hasil cor dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Perbesaran 500x



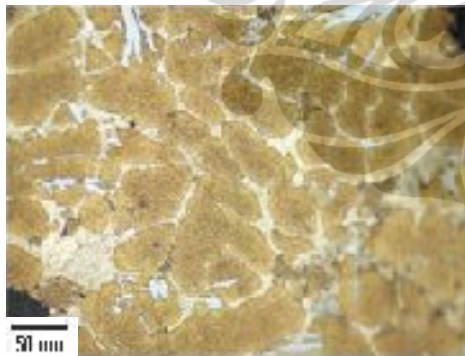
(a) Kode sampel :F-0



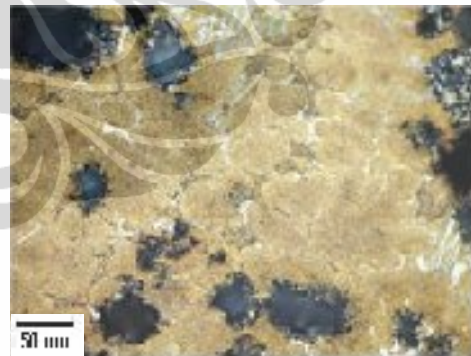
(b) Kode sampel : F-5



(c) Kode sampel : F-10



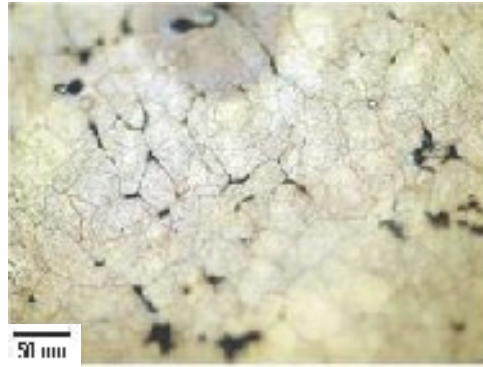
(d) Kode sampel : F-15



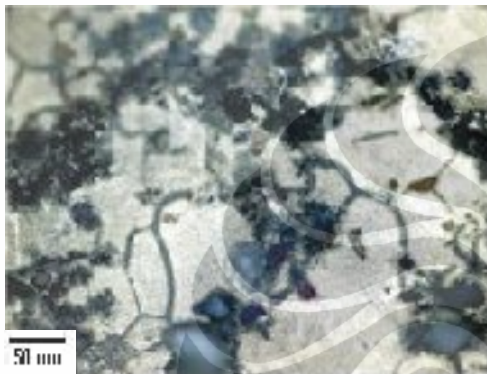
(e) Kode sampel : F-20

Gambar 4.8 Metalografi sampel hasil *thixoforming* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebelum di *heat treatment*. Perbesaran 500x

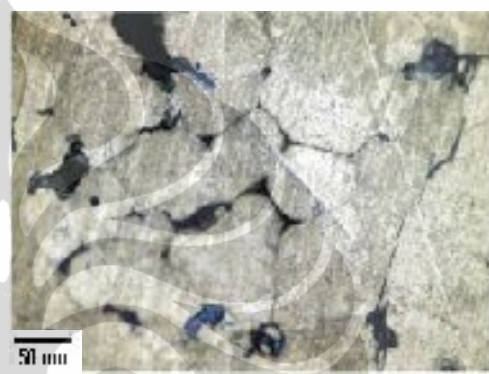




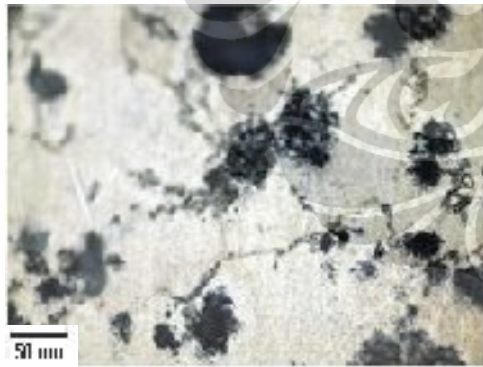
(a) Kode sampel :F-0/16



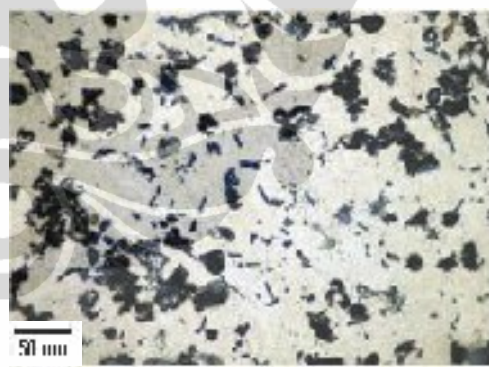
(b) Kode sampel : F-5/16



(c) Kode sampel : F-10/16

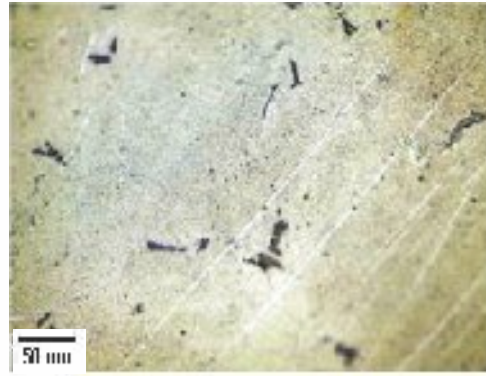


(d) Kode sampel : F-15/16

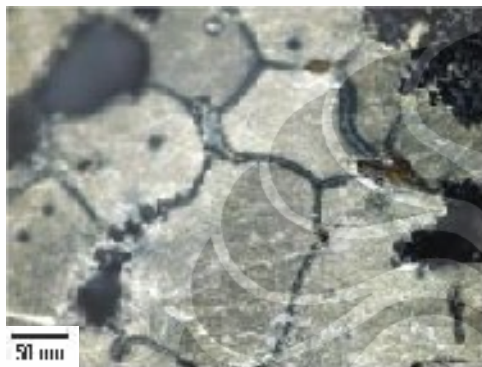


(e) Kode sampel : F-20/16

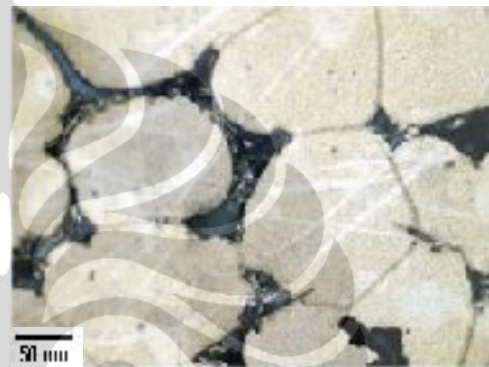
Gambar 4.9 Metalografi sampel hasil *thixoforming* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  setelah proses *solution treatment* 540 °C hold 4 jam kemudian di *aging* selama 16 jam. Perbesaran 500x.



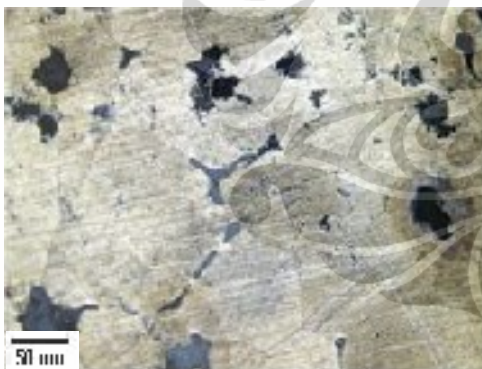
(a) Kode sampel :F-0/28



(b) Kode sampel : F-5/28



(c) Kode sampel : F-10/28



(d) Kode sampel : F-15/28



(e) Kode sampel : F-20/28

Gambar 4.10 Metalografi sampel hasil *thixoforming* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  setelah proses solution treatment 540 °C hold 4 jam kemudian di *aging* selama 28 jam. Perbesaran 500x

#### 4.1.10. Pengujian SEM dan EDS

Pengujian SEM dan EDS dilakukan pada serbuk alumina, sampel hasil *casting* dan *thixoforming* yang dianggap dapat mewakili pengujian ini. Hasil pengujian ditampilkan pada gambar 4.11 – gambar 4.26 di lampiran 1.



## 4.2 PEMBAHASAN

Pada bagian ini disampaikan pembahasan terhadap hasil-hasil pengujian yang ditampilkan pada tulisan di atas.

### 4.2.1. Analisa Kimia

Berdasarkan hasil analisa kimia pada material penyusun komposit antara lain, magnesium, paduan Al5Cu, alumina. Diketahui bahwa ingot Al5Cu yang digunakan sebagai matrik komposit yang digunakan mengandung 4,98 % Cu dan unsur lain seperti Si, Fe, Mg, Zn dan lain-lain yang tidak lebih dari 1 %. Sehingga paduan ini memenuhi persyaratan untuk dapat dilakukan penigkatan pengerasan presipitasi dengan proses perlakuan panas T6. Paduan Al5Cu adalah termasuk paduan aluminium seri 2xxx, yang memiliki kemampuan untuk ditingkatkan sifat-sifat mekanisnya dengan perlakuan panas seperti paduan seri 6xxx, 7xxx dan 8xxxx.

Partikel penguat yang digunakan sebagai penguat komposit adalah serbuk alumina teknis. Secara fisik alumina ini berwarna putih. Pengukuran ukuran butir yang dilakukan dengan XRF menunjukkan tingkat kemurnian yang tinggi, dimana unsur terdapat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 99,60 %, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,25 % dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,13 %. Ukuran butir serbuk diukur dengan menggunakan SEM. Dari hasil pengukuran diketahui ukuran serbuk alumina berada pada rentang 8,89 hingga 68,75 µm.

Magnesium digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat pembasahan alumina agar dapat terbentuk interface yang baik antara alumina dengan matrik. Magnesium ingot yang digunakan memiliki komposisi magnesium 99,91 % dan unsur lain yang lebih kecil dari 0,2% seperti Al, Mn, Si dan Cu.

### 4.2.2 Pengaruh Fraksi Volume Penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Parameter Aging terhadap Kekerasan Komposit.

Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Brinell dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.27 dan 4.28.

Tabel IV.6 Kekerasan ingot komposit as cast

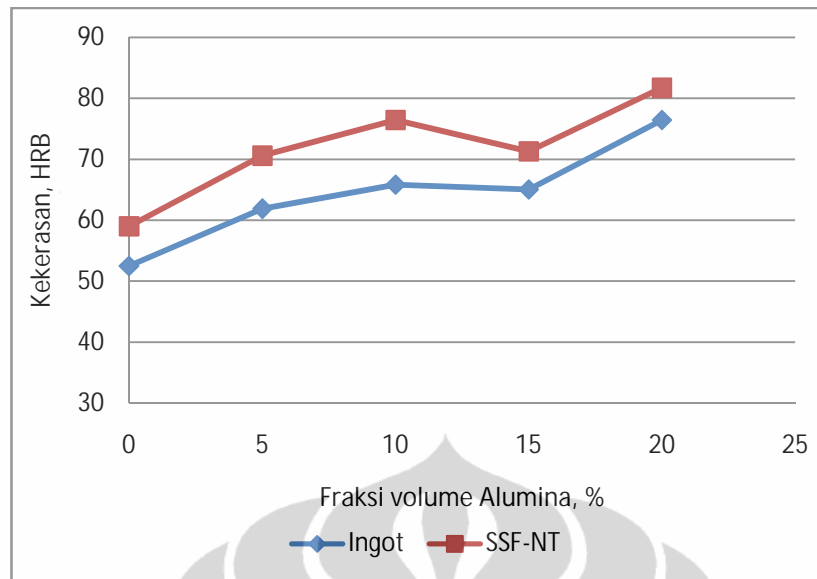
Pengulangan HRB	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	48.76	62.72	75.70	67.39	78.10
2	48.54	59.09	65.81	59.46	74.86
3	57.64	61.60	63.94	57.78	68.85
Jumlah( $\Sigma$ )	154.94	183.41	205.45	184.64	221.81
<b>Rata -rata</b>	<b>51.65</b>	<b>61.14</b>	<b>68.48</b>	<b>61.55</b>	<b>73.94</b>
<b>Standart deviasi</b>	5.19	1.86	6.32	5.13	4.69

Tabel IV.7 Kekerasan hasil thixoforming tanpa perlakuan panas

Pengulangan HRB	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	59.46	69.50	76.78	73.01	80.49
2	56.59	72.30	74.44	72.60	84.86
3	61.14	69.97	78.21	68.39	79.91
Jumlah( $\Sigma$ )	177.19	211.78	229.42	214.00	245.26
<b>Rata -rata</b>	<b>59.06</b>	<b>70.59</b>	<b>76.47</b>	<b>71.33</b>	<b>81.75</b>
<b>Standart deviasi</b>	2.30	1.50	1.90	2.56	2.70

Tabel IV.6 dan IV.7 memperlihatkan data kekerasan dari sampel-sampel ingot komposit as cast dan hasil thixoforming yang diuji kekerasannya. Nilai standar deviasi untuk kekerasan ingot komposit *as cast* berkisar antara 1,86 – 6,32. Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 5 % alumina yaitu 1,86. Standar deviasi kekerasan hasil thixoforming tanpa perlakuan panas berkisar antara 1,50 - 2,7. Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 5% alumina yaitu 1,5. Rendahnya rentang nilai standar deviasi menunjukkan tingginya keakuratan data dan nilai kekerasan yang diperoleh mendekati nilai sebenarnya.

Nilai kekerasan diatas diperoleh dengan persamaan uji kekerasan Brinell. Selanjutnya untuk memudahkan pengamatan hasil pengujian maka nilai rata-rata kekerasan dicantumkan dalam grafik 4.11.



Gambar 4.11 Hasil uji kekerasan ingot komposit dan hasil *thixoforming* tanpa perlakuan panas.

Dari gambar 4.11 di atas terlihat bahwa kekerasan ingot komposit lebih rendah pada seluruh fraksi volume alumina dibanding komposit *thixoforming* tanpa perlakuan panas. Kenaikan nilai kekerasan terjadi berbanding lurus dengan fraksi volume alumina, kecuali pada fraksi volume 15 % alumina. Pada fraksi volume 15 % alumina, kekerasan pada ingot komposit menurun sebesar 1,2 %, namun mengalami kenaikan kembali pada fraksi volume 20%. Kekerasan ingot komposit terendah adalah 52 HRB, dan kekerasan tertinggi pada ingot komposit dengan fraksi volume 20 % alumina, sebesar 76 HRB. Dengan demikian diketahui bahwa penambahan fraksi volume sebesar 20% alumina pada ingot komposit telah meningkatkan kekerasan sebesar 45 %.

Kekerasan hasil *thixoforming* tanpa perlakuan panas mengalami peningkatan pada seluruh fraksi volume alumina sebesar 6-12 % dibanding kekerasan ingot komposit. Peningkatan kekerasan terbesar sebesar 16,12 % terdapat pada fraksi volume 10 %. Sebagaimana ingot komposit, pada fraksi volume alumina 15 % hasil *thixoforming* tanpa perlakuan panas, kekerasan justru lebih rendah dibanding fraksi penguat 10% yaitu 71,28 HRB. Kekerasan tertinggi adalah pada fraksi volume alumina 20 % yaitu 81,7 HRB.

Tabel IV.8 Analisa kekerasan hasil thixoforming setelah T6 dan Aging 16 jam

Pengulangan HRB	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	66.51	78.66	82.51	73.62	86.39
2	69.50	75.91	80.61	74.75	101.58
3	70.93	86.65	91.52	71.32	99.32
Jumlah( $\Sigma$ )	206.94	241.22	254.64	219.69	287.29
<b>Rata -rata</b>	<b>68.98</b>	<b>80.41</b>	<b>84.88</b>	<b>73.23</b>	<b>95.76</b>
<b>Standart deviasi</b>	2.26	5.58	5.83	1.75	8.20

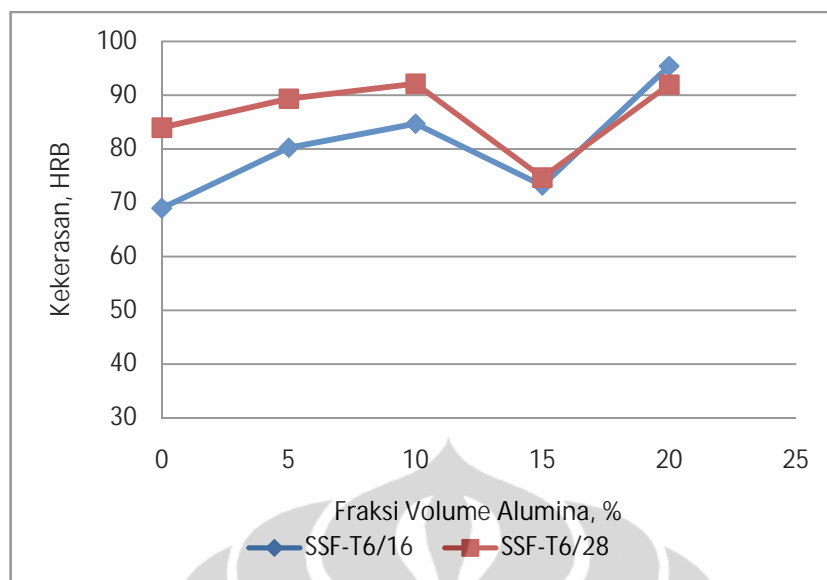
Tabel IV.9 Analisa kekerasan hasil thixoforming setelah T6 dan Aging 28 jam

Pengulangan HRB	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	89.44	87.04	86.39	77.65	89.72
2	83.12	86.91	90.96	68.76	95.75
3	79.68	94.26	99.64	78.10	90.54
Jumlah( $\Sigma$ )	252.24	268.21	276.99	224.51	276.02
<b>Rata -rata</b>	<b>84.08</b>	<b>89.40</b>	<b>92.33</b>	<b>74.84</b>	<b>92.01</b>
<b>Standart deviasi</b>	4.95	4.21	6.73	5.27	3.27

Tabel IV.8 dan IV.9 memperlihatkan data kekerasan dari sampel-sampel hasil thixoforming setelah mengalami perlakuan panas T6 yang disertai aging selama 16 dan 28 jam. Nilai standar deviasi untuk hasil thixoforming setelah mengalami perlakuan panas T6 dan aging selama 16 jam berkisar antara 1,76-8,20. Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 15 % alumina yaitu 1,75. Nilai standar deviasi untuk hasil thixoforming setelah mengalami perlakuan panas T6 dan aging selama 28 jam berkisar antara 3,27-5,27. Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 20 % alumina yaitu 3,27. Rendahnya rentang nilai standar deviasi menunjukkan tingginya keakuratan data dan nilai kekerasan yang diperoleh mendekati nilai sebenarnya

Nilai kekerasan pada tabel IV.8 dan IV.9 diperoleh dengan persamaan uji kekerasan Brinell. Selanjutnya untuk memudahkan pengamatan hasil pengujian maka nilai rata-rata kekerasan dicantumkan dalam grafik 4.12.





Gambar 4.12 Hasil uji kekerasan produk *thixoforming* di *solution treatment* pada temperatur 540 °C dan di aging pada temperatur 200 °C selama 16 dan 28 jam.

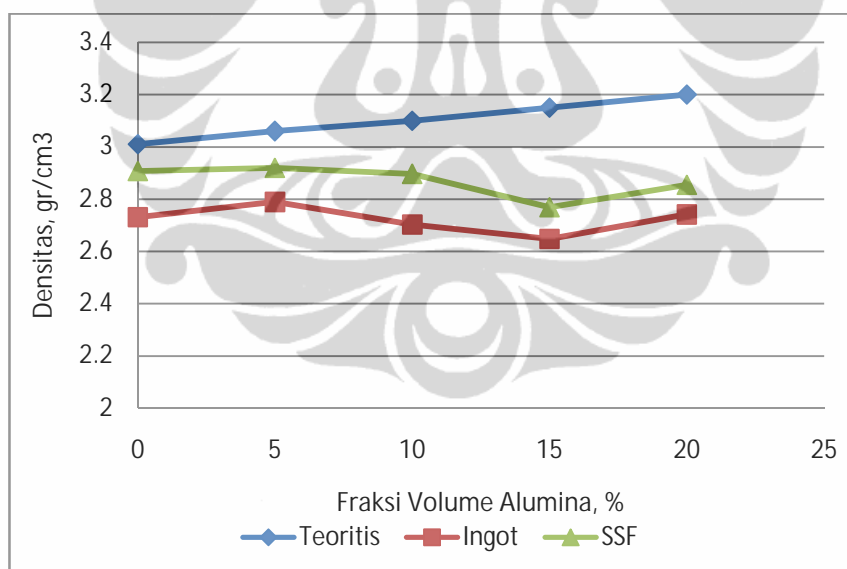
Proses perlakuan panas terhadap hasil *thixoforming* menunjukkan peningkatan kekerasan yang cukup berarti pada kedua waktu *aging* berbeda yaitu 16 dan 28 jam sebagaimana ditunjukkan gambar 4.12. Secara umum kekerasan komposit yang mengalami *aging* 28 jam lebih tinggi dibanding *aging* 16 jam. Pada *aging* 16 jam, kekerasan tertinggi adalah 95,4 HRB (20% Vf) dan terendah 68,94 HRB, pada komposit tanpa penguat. Peningkatan kekerasan terbesar jika dibandingkan dengan kekerasan ingot komposit terjadi pada fraksi volume 10 % yaitu sebesar 28 %. Sedangkan peningkatan kekerasan matrik komposit dibanding komposit dengan fraksi volume 20 % adalah sebesar 38,37%.

Kekerasan hasil *thixoforming* yang di *aging* selama 28 jam pada temperatur 200 °C secara umum lebih tinggi dibanding *aging* 16 jam, kecuali pada fraksi volume 20 %. Pada fraksi volume 20 % alumina, kekerasan *aging* 16 jam adalah 95,4 HRB dan kekerasan *aging* 28 jam adalah 91,94 HRB. Kenaikan kekerasan matrik tanpa penguat dibanding komposit dengan 20 % fraksi volume alumina adalah 9,54%.

### 4.2.3 Densitas dan Porositas Komposit

Pengujian densitas dilakukan pada ingot komposit hasil *casting* dan komposit hasil *thixoforming*. Pengukuran densitas dilakukan dengan perhitungan secara teoritis dan percobaan.

Perhitungan teoritis dapat terhadap berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan hukum persamaan campuran, atau dengan menggunakan software online yang terdapat di internet. Walaupun software tersebut memiliki keterbatasan hanya dapat menghitung satu matrix dan satu reinforce, namun untuk perhitungan densitas dan fraksi berat pada komposit ini dapat dilakukan secara bertahap. Terdapat sedikit perbedaan antara nilai teoritis dan hasil percobaan. Hal ini dikarenakan tingkat kemurnian unsur penyusun komposit dan tingginya porositas yang terjadi saat pembuatan komposit. Sehingga hasil pengukuran densitas menunjukkan nilai yang sedikit lebih rendah dibanding nilai teoritis. Perbedaan antara nilai teoritis dan praktis dapat dilihat pada gambar 4.13.

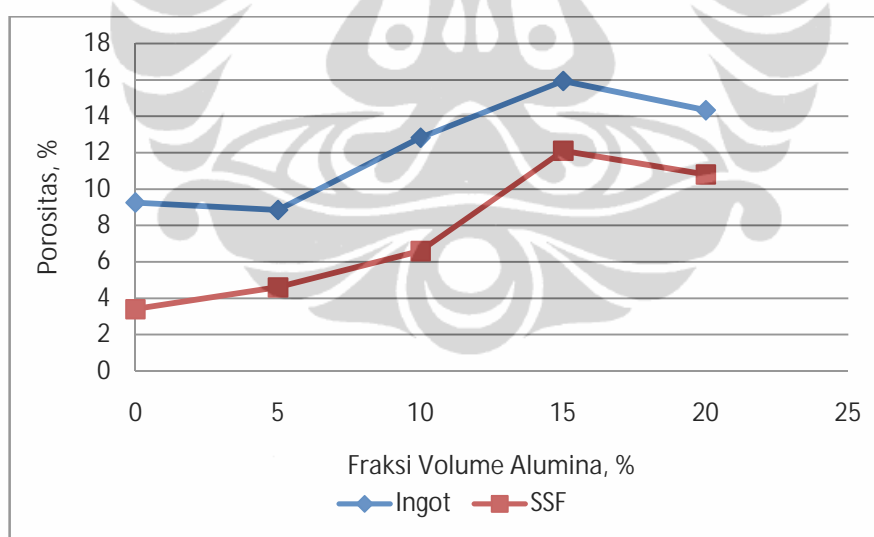


Gambar 4.13. Densitas komposit secara teoritis, bentuk ingot komposit *casting* dan hasil *thixoforming*.

Dari hasil pengujian terhadap komposit hasil *casting* dan *thixoforming* sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.29, terlihat bahwa densitas hasil *thixoforming* dan ingot komposit *casting* lebih rendah dibanding densitas teoritis. Secara teoritis semestinya penambahan alumina 20 % Vf dapat meningkatkan densitas sebesar 6 %. Namun pada ingot komposit kenaikan densitas hanya terjadi

pada 5 % Vf sebesar 2,1 % dan 20 % Vf sebesar 0,37 %. Penurunan densitas sebesar 1,03 % dan 3,08 % terjadi pada ingot komposit 10 % dan 15 % Vf alumina. Pada hasil *thixoforming*, hanya komposit 5 % Vf alumina yang mengalami kenaikan densitas (0,4 %) sedangkan pada 10 % Vf alumina densitas turun 0,4 %, pada 15 % Vf alumina densitas turun 4 %, pada 20 % Vf alumina densitas turun 1,9 %.

Penurunan densitas ini disebabkan adanya porositas pada komposit akibat proses pembuatan komposit dengan metode *steering* yang mengakibatkan terjebaknya udara di dalam komposit. Dengan semakin lama dan tingginya putaran pengaduk saat proses pencampuran partikel alumina maka akan masuk banyak udara yang terjebak didalam komposit. Hal ini juga akan meningkatkan porositas pada komposit. Nilai densitas tertinggi adalah pada 5 % fraksi volume alumina yaitu 2,78 pada ingot komposit *casting* dan 2,91 pada hasil *thixoforming*. Densitas terendah terjadi pada fraksi volume 15 % alumina yaitu sebesar 2,64 gr/cm<sup>3</sup> pada Ingot komposit *casting* dan 2,76 pada hasil *thixoforming*.



Gambar 4.14 Grafik hasil uji porositas pada ingot komposit dan hasil *thixoforming*

Dari hasil pengujian porositas terhadap ingot komposit dan hasil *thixoforming* diketahui bahwa porositas hasil *thixoforming* lebih rendah pada setiap fraksi volume alumina sebagaimana ditunjukkan gambar 4.14. Penurunan porositas hasil *thixoforming* dikarenakan besarnya gaya tekanan yang diberikan

mengakibatkan keluarnya udara yang terjebak didalam komposit. Pada ingot komposit, porositas terendah adalah 8,84 % (0% Vf) dan porositas terus meningkat hingga 15,94% (15% Vf), lalu turun kembali menjadi 14.33% pada (20% Vf). Pada produk *thixoforming* porositas terendah sebesar 3,40 (0 % Vf) dan tertinggi sebesar 10,79% (20 % Vf).

Porositas yang terjadi pada produk hasil *thixoforming* juga memperlihatkan indikasi yang sama dengan ingot komposit *casting*, dimana terjadi peningkatan porositas pada 15 % fraksi volume. Meningkatnya porositas ini dikarenakan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dan waktu pengadukan yang lama sehingga meningkatkan jumlah udara yang terjebak di dalam komposit.

#### 4.2.4 Pengaruh Fraksi Volume Penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Parameter Aging terhadap Ketahanan Aus Komposit.

Hasil pengujian aus yang dilakukan dengan mesin Ogoshi di laboratorium DT Universitas Indonesia menunjukkan hasil sebagaimana berikut. Laju keausan ingot komposit lebih tinggi dibanding hasil *thixoforming* tanpa perlakuan panas. Nilai keausan tertinggi pada ingot komposit *casting* adalah 0,012 mm<sup>3</sup>/mm ( 0 %Vf) dan nilai keausan terendah adalah 0,0031 mm<sup>3</sup>/mm (15 % Vf). Penambahan fraksi volume alumina terbukti dapat menurunkan laju keausan.

Tabel IV.10 Analisa perhitungan pengujian aus komposit as cast

Pengulangan Laju Aus	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	1.28E-02	4.93E-03	3.62E-03	3.63E-03	4.17E-03
2	1.15E-02	5.67E-03	3.62E-03	2.78E-03	4.22E-03
3	1.21E-02	5.05E-03	3.71E-03	2.99E-03	4.50E-03
Jumlah( $\Sigma$ )	3.64E-02	1.56E-02	1.10E-02	9.40E-03	1.29E-02
<b>Rata -rata</b>	<b>1.21E-02</b>	<b>5.21E-03</b>	<b>3.65E-03</b>	<b>3.13E-03</b>	<b>4.30E-03</b>
Standart deviasi	6.29E-04	3.99E-04	5.04E-05	4.46E-04	1.80E-04



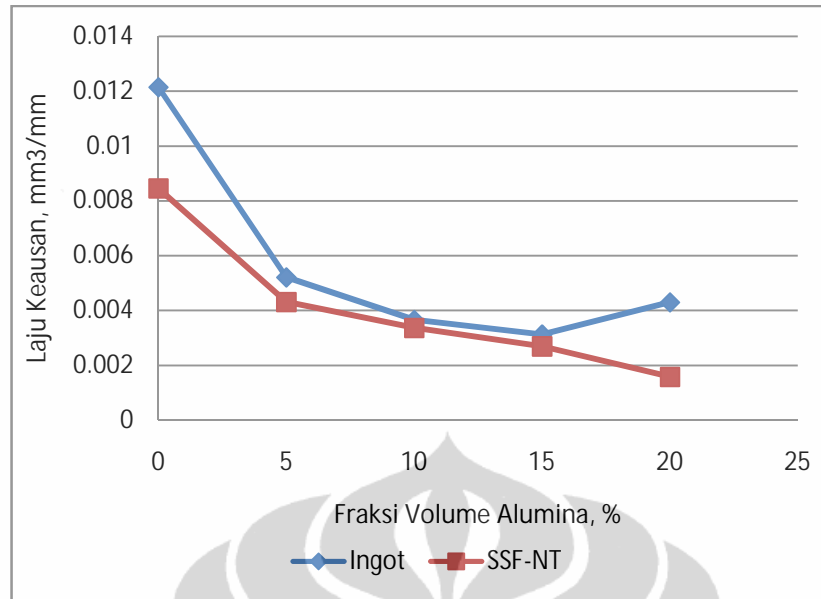
Tabel IV.11 Analisa perhitungan pengujian aus komposisi hasil thixoforming tanpa perlakuan panas

Pengulangan Laju Aus	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	9.46E-03	4.54E-03	3.42E-03	2.85E-03	1.56E-03
2	6.99E-03	4.48E-03	3.27E-03	2.32E-03	1.89E-03
3	9.02E-03	3.92E-03	3.39E-03	2.92E-03	1.32E-03
Jumlah( $\Sigma$ )	2.55E-02	1.29E-02	1.01E-02	8.09E-03	4.77E-03
<b>Rata -rata</b>	<b>8.49E-03</b>	<b>4.31E-03</b>	<b>3.36E-03</b>	<b>2.70E-03</b>	<b>1.59E-03</b>
Standart deviasi	1.32E-03	3.44E-04	7.97E-05	3.27E-04	2.87E-04

Tabel IV.10 dan IV.11 memperlihatkan data laju keausan dari sampel-sampel ingot komposit *as cast* dan hasil thixoforming tanpa perlakuan panas. Nilai standar deviasi ingot komposit *as cast* berkisar antara 1.80E-04 - 6.29E-04. Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 20 % alumina yaitu 1.80E-04. Nilai standar deviasi untuk hasil thixoforming tanpa perlakuan panas berkisar antara 7.97E-05 - 1.32E-03. Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 10 % alumina yaitu 7.97E-05. Rendahnya rentang nilai standar deviasi menunjukkan tingginya keakuratan data dan nilai kekerasan yang diperoleh mendekati nilai sebenarnya

Nilai kekerasan pada tabel IV.10 dan IV. 11 diperoleh dengan persamaan uji kekerasan Brinell. Selanjutnya untuk memudahkan pengamatan hasil pengujian maka nilai rata-rata kekerasan dicantumkan dalam grafik 4.31.

Setelah mengalami proses pembentukan *thixoforming*, laju keausan komposit yang tidak di laku panas T6, pada tiap fraksi volume alumina terlihat menurun, pada gambar 4.15. Laju keausan terbesar ada pada 0 % Vf alumina yaitu 0,0084 mm<sup>3</sup>/mm dan laju keausan terendah adalah 0,0015 mm<sup>3</sup>/mm pada 20 % alumina.



Gambar 4.15 Grafik hasil uji laju keausan pada ingot komposit dan hasil *thixoforming*

Tabel IV.12 Analisa perhitungan laju keausan komposit hasil *thixoforming* dan T6 Aging 16 jam

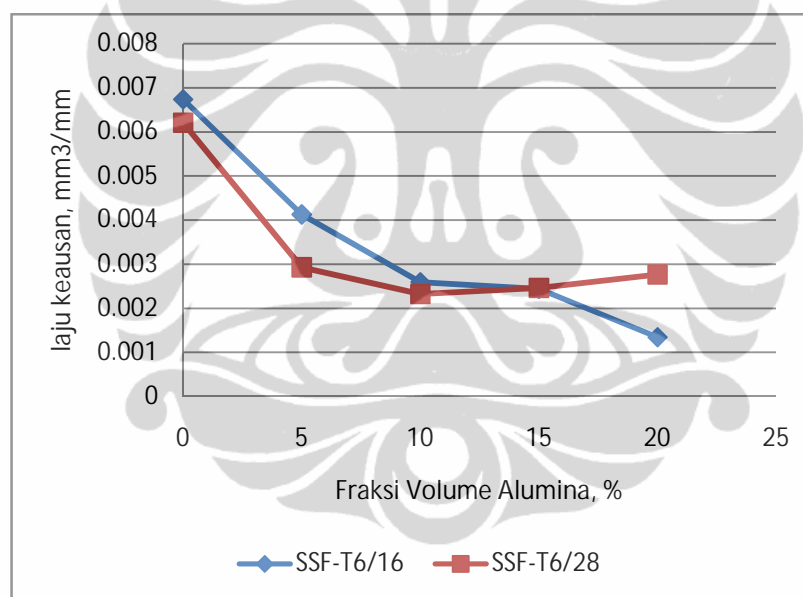
Pengulangan Laju Aus	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	6.56E-03	4.04E-03	2.46E-03	2.66E-03	1.07E-03
2	6.08E-03	4.01E-03	2.48E-03	1.99E-03	1.59E-03
3	7.61E-03	4.32E-03	2.83E-03	2.71E-03	1.40E-03
Jumlah ( $\Sigma$ )	2.03E-02	1.24E-02	7.77E-03	7.36E-03	4.06E-03
Rata -rata	6.75E-03	4.12E-03	2.59E-03	2.45E-03	1.35E-03
Standart deviasi	7.82E-04	1.69E-04	2.08E-04	4.02E-04	2.67E-04

Tabel IV.13 Analisa perhitungan laju keausan komposit hasil *thixoforming* dan T6 Aging 28 jam

Pengulangan Laju Aus	Fraksi Volume Alumina				
	0	5	10	15	20
1	4.14E-03	3.59E-03	2.40E-03	2.58E-03	2.66E-03
2	6.43E-03	2.89E-03	2.11E-03	2.32E-03	2.91E-03
3	8.58E-03	2.38E-03	2.46E-03	2.46E-03	2.72E-03
Jumlah ( $\Sigma$ )	1.91E-02	8.86E-03	6.97E-03	7.37E-03	8.29E-03
Rata -rata	6.38E-03	2.95E-03	2.32E-03	2.46E-03	2.76E-03
Standart deviasi	2.22E-03	6.04E-04	1.83E-04	1.28E-04	1.35E-04

Tabel IV.12 dan IV.13 memperlihatkan data laju keausan dari sampel-sampel komposit hasil thixoforming dengan T6 dan aging selama 16 dan 28 jam. Nilai standar deviasi hasil thixoforming dengan T6 dan aging selama 16 jam berkisar antara  $1.69E-04$  -  $7.82E-04$ . Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 5 % alumina yaitu  $1.69E-04$ . Nilai standar deviasi untuk hasil thixoforming dengan T6 dan aging selama 28 jam berkisar antara  $1.28E-04$  -  $2.22E-03$ . Standar deviasi terendah adalah pada fraksi volume 15 % alumina yaitu  $1.28E-04$ . Rendahnya rentang nilai standar deviasi menunjukkan tingginya keakuratan data dan nilai kekerasan yang diperoleh mendekati nilai sebenarnya

Nilai kekerasan pada tabel IV.12 dan IV. 13 diperoleh dengan persamaan uji keausan. Selanjutnya untuk memudahkan pengamatan hasil pengujian maka nilai rata-rata laju keausan dicantumkan dalam grafik 4.16.



Gambar 4.16 Grafik hasil uji laju keausan pada hasil *thixoforming* setelah di laku panas T6 dengan waktu *aging* 16 dan 28 jam.

Gambar 4.16 diatas menunjukkan hasil pengujian laju keausan pada hasil *thixoforming* yang telah dikenai perlakuan panas T6 dengan *aging* 16 dan 28 jam. Secara umum terlihat bahwa kedua garis laju keausan hasil T6 memperlihatkan laju keausan lebih kecil dibanding ingot komposit *casting* dan hasil *thixoforming* yang belum mengalami T6. Hasil perlakuan panas T6 dengan *aging* selama 28 jam memperlihatkan memiliki laju aus yang lebih rendah dibanding T6 dengan *aging* 16 jam. Pada *aging* 28 jam, laju keausan tertinggi adalah  $0,0062 \text{ mm}^3/\text{mm}$

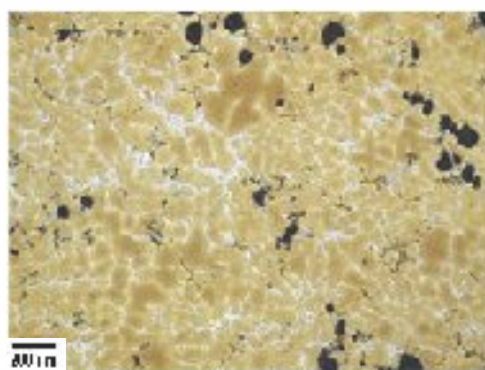
(0 % Vf) dan terendah adalah  $0,0023 \text{ mm}^3/\text{mm}$  (10% Vf). Laju keausan *aging* 16 jam yang tertinggi adalah  $0,0067 \text{ mm}^3/\text{mm}$  (0 % Vf) dan terendah adalah  $0,0013 \text{ mm}^3/\text{mm}$  (20% Vf). Pada fraksi volume 20 % alumina, laju keausan *aging* 16 jam lebih rendah 51,4 % dibanding *aging* 28 jam. Penurunan laju keausan ini dikarenakan adanya serbuk alumina yang tersebar dalam matrik aluminium.

Dengan demikian penambahan alumina hingga fraksi volume 20 % dapat menurunkan laju aus maksimum sebesar 81,23 % pada hasil *thixoforming* tanpa perlakuan panas, sedangkan penurunan laju aus minimum adalah 55,48 % pada hasil *thixoforming* yang di *aging* selama 28 jam.

#### 4.2.5 Hubungan Metalografi Dan Distribusi Partikel Alumina Dengan Sifat Mekanis

Pengujian metalografi yang dilakukan untuk mengamati distribusi partikel alumina dilakukan pada perbesaran 100 x. Perbesaran 100 x dianggap dapat mewakili daerah yang cukup luas untuk dapat diamati sebaran partikel alumina pada permukaan sampel. Pada gambar 4.17 hingga gambar 4.25 telah ditampilkan distribusi partikel alumina pada ingot komposit hasil *casting*, hasil *thixoforming* tanpa laku panas dan *thixoforming* dengan laku panas T6 yang di *aging* selama 16 dan 28 jam.

Berikut ini akan disajikan hasil foto mikrostruktur dari fraksi volume yang sama pada setiap proses yang dilakukan pada penelitian ini.

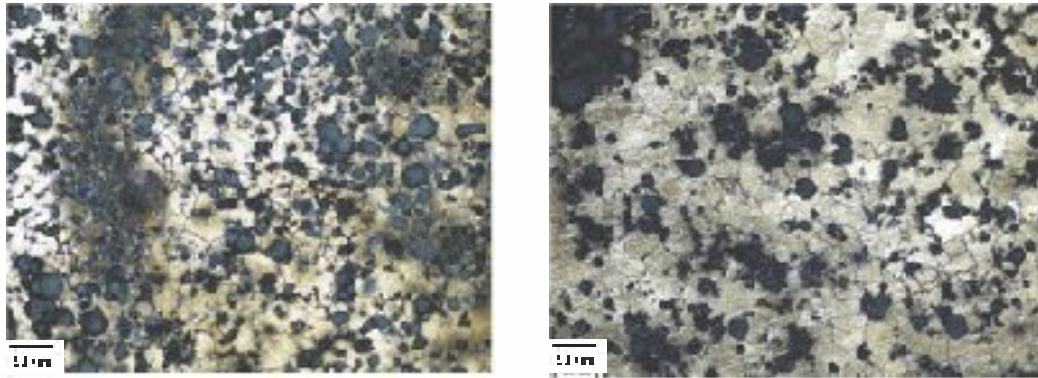


(a) sampel : i-5



(b) sampel : F-5

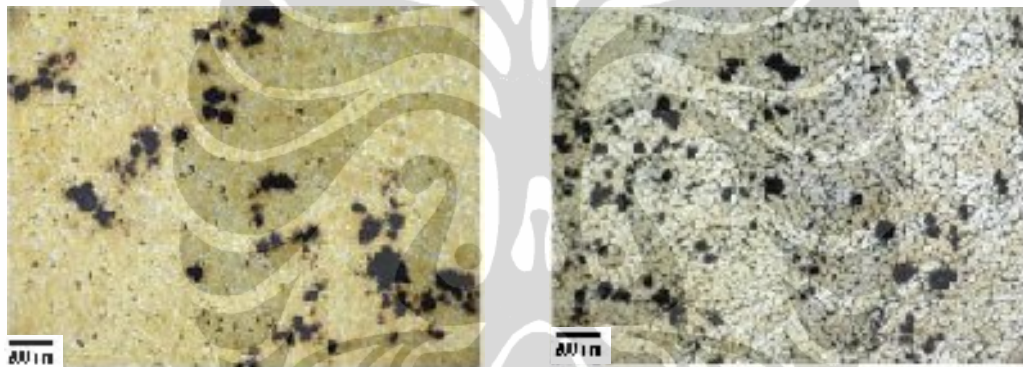




(c) sampel :F-5/16

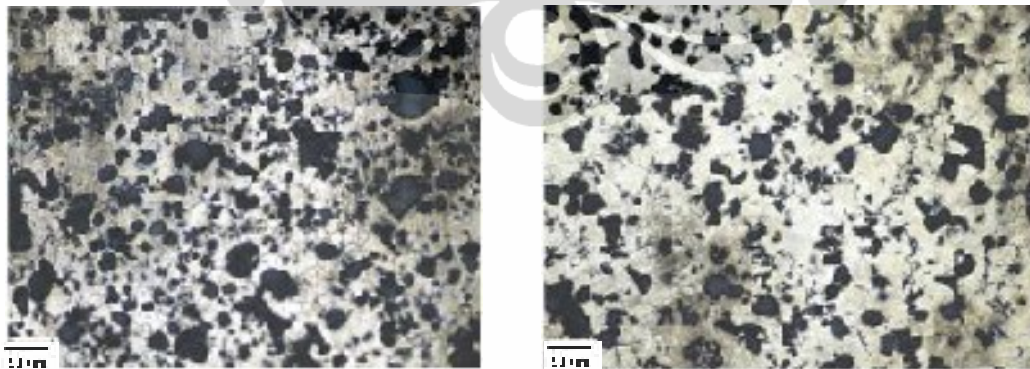
(d) sampel : F-5/28

Gambar 4.17 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam.



(a) sampel : i-10

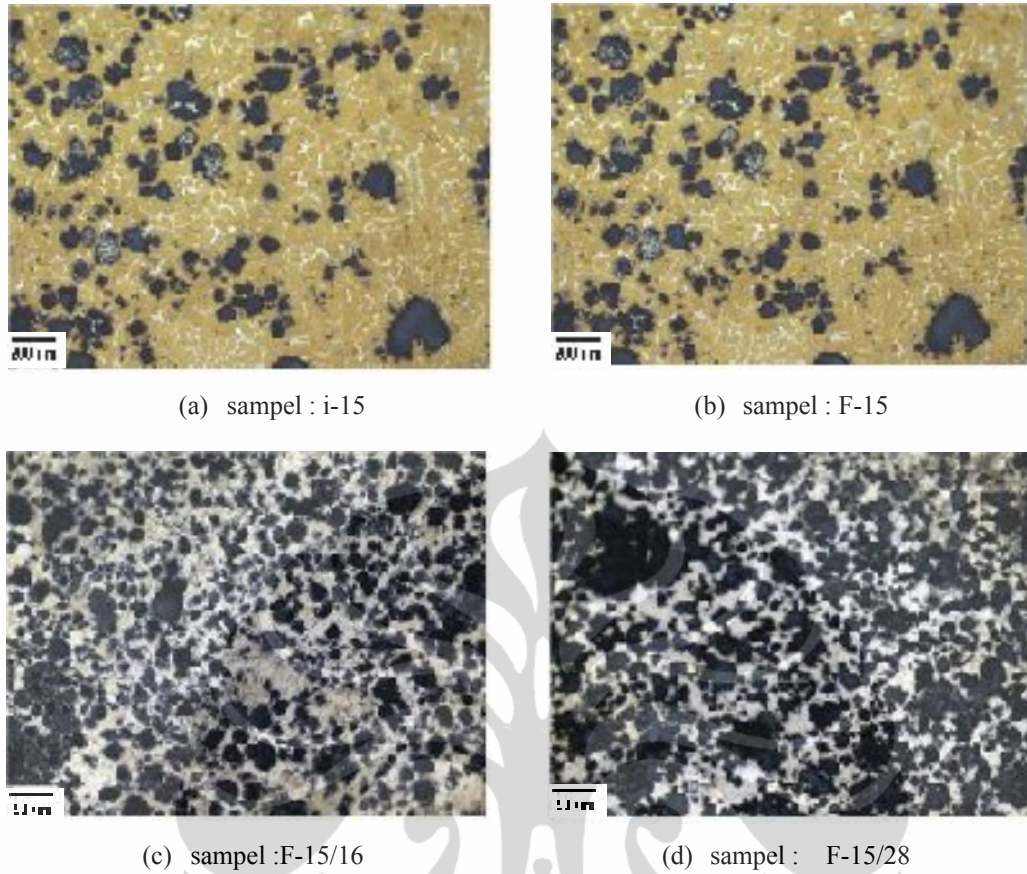
(b) sampel : F-10



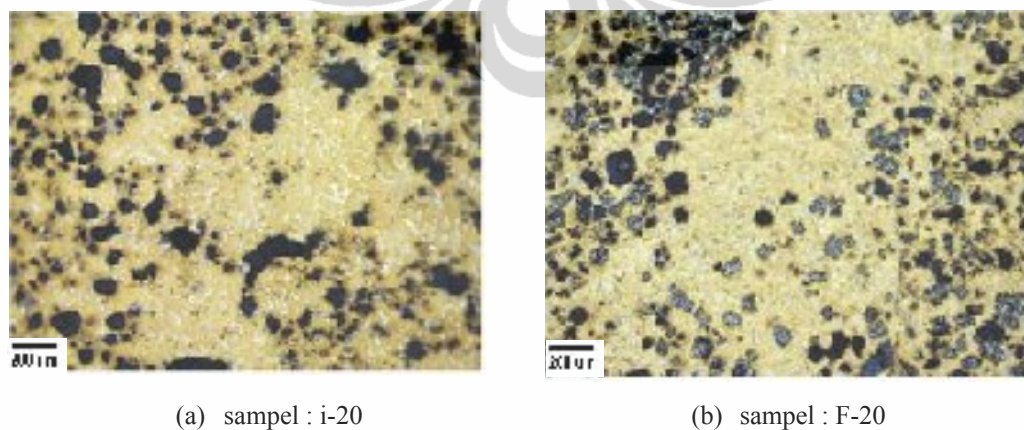
(c) sampel :F-10/16

(d) sampel : F-10/28

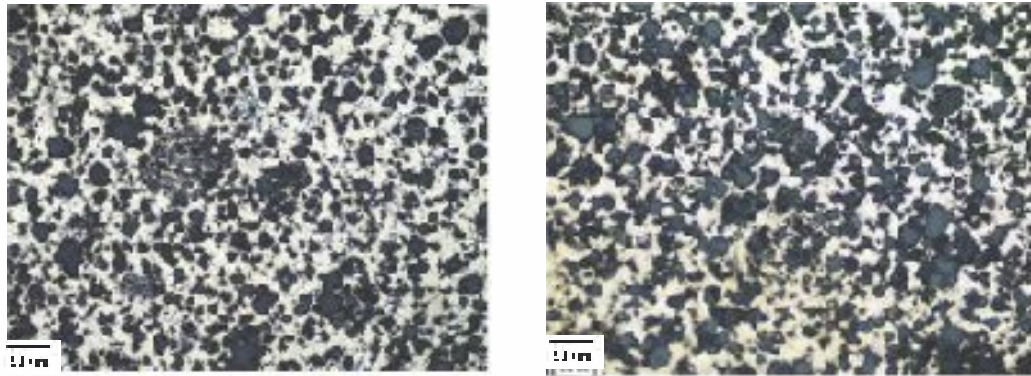
Gambar 4.18 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 10 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



Gambar 4.19 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 15 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam







(c) sampel :F-20/16

(d) sampel : F-20/28

Gambar 4.20 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam

Dari rangkaian gambar diatas terlihat bahwa distribusi partikel pada komposit mulai fraksi volume 5 – 20 % cukup merata dengan komposisi yang proporsional. Pengaruh proses pembentukan mulai dari ingot komposit *casting*, *thixoforming*, dan *aging* terhadap distribusi partikel terlihat sangat jelas. Sebaran partikel alumina pada hasil *thixoforming* (kode sampel F-x) terlihat lebih banyak dibanding ingot komposit *casting* (kode sampel i-x). Demikian pula sebaran partikel alumina pada hasil *aging* 16 dan 28 jam (kode sampel F-x/16 dan F-x/28) lebih banyak dibanding hasil *thixoforming* sebelum di *aging*. Peningkatan sebaran partikel alumina pada matrik komposit ini meningkatkan sifat mekanis seperti kekerasan dan ketahanan aus.

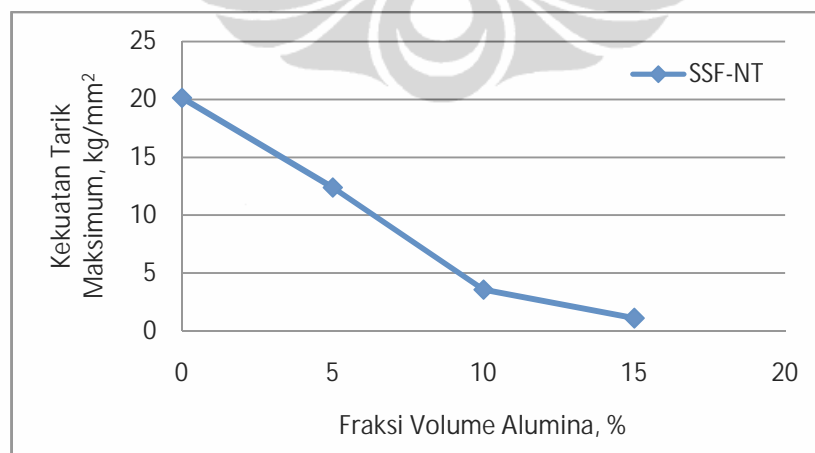
Struktur mikro ingot komposit yang hendak dikenai proses lanjut berupa pemanasan ulang untuk mencapai fasa semi solid harus memiliki struktur globular. Berdasarkan hasil foto mikro ingot komposit dengan perbesaran 500x pada gambar 4.7, terlihat bahwa struktur mikro ingot komposit sebagian besar telah berbentuk globular, walaupun masih terdapat yang berbentuk dendritik.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa ingot komposit dengan struktur mikro sebagaimana dijelaskan diatas memiliki kekerasan dalam rentang 52 – 76 HRB. Adapun nilai kekerasan semakin tinggi dengan meningkatnya fraksi volume alumina.

Makin banyaknya sebaran partikel alumina tidak berbanding lurus dengan nilai densitas komposit. Berdasarkan pengujian porositas dan densitas pada ingot komposit *casting* dan hasil *thixoforming* tanpa *aging* diketahui bahwa densitas terbesar ada pada fraksi volume 5 % alumina. Hal ini terjadi karena pada fraksi volume 5 % alumina dapat tersistribusi secara merata dan porositasnya relatif rendah.

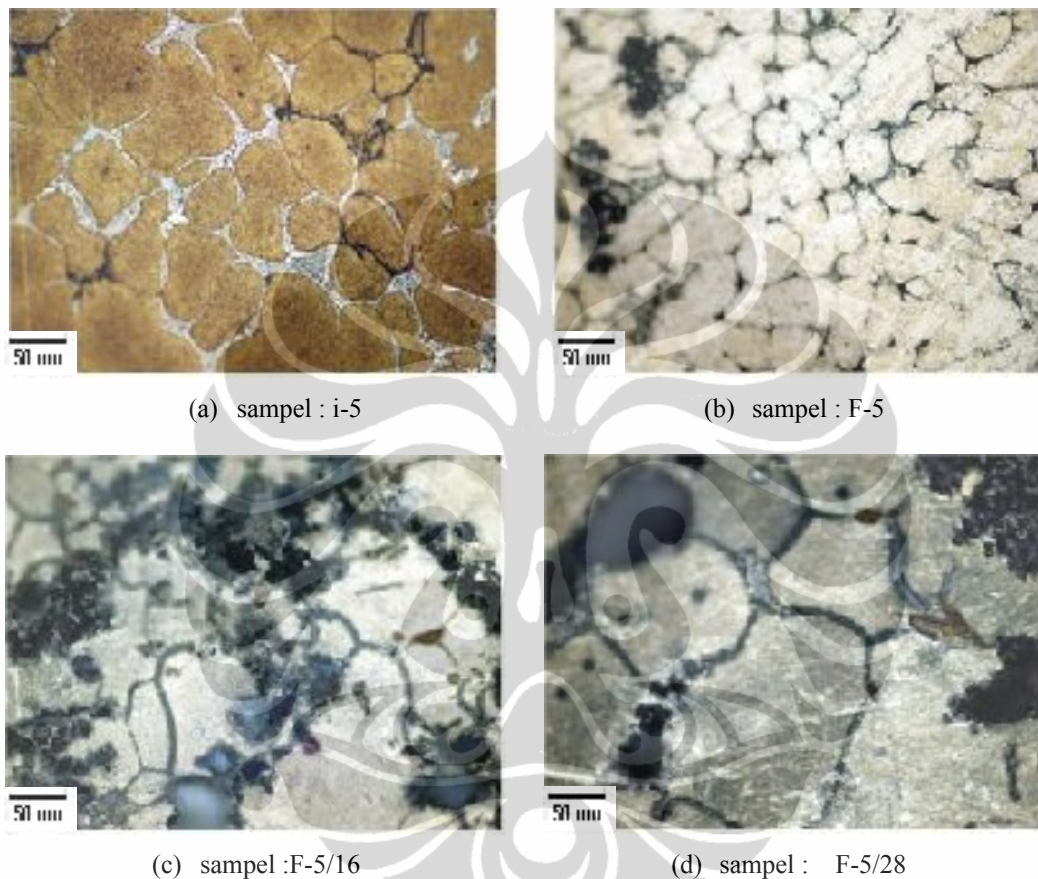
Partikel alumina yang tersebar pada matrik komposit tidak tersebar dalam bentuk butiran tunggal, namun merupakan kumpulan dari beberapa butir partikel. Hal ini menjadikan banyak partikel alumina yang tidak terikat oleh matrik Al5Cu, sehingga partikel mudah terlepas dari matrik jika mengalami gaya dari luar.. Banyaknya sebaran kelompok partikel alumina identik dengan banyaknya sebaran porositas pada matrik komposit, akibatnya pada hasil pengujian tarik diketahui bahwa kekuatan tarik semakin rendah dengan peningkatan fraksi volume alumina sebagaimana gambar 4.21.

Pengujian uji tarik pada spesimen hasil *thixoforming* menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar adalah 197,3 kg/mm<sup>2</sup> (0 % Vf), kekuatan tarik ini terus menurun dengan meningkatnya fraksi volume alumina. Kekuatan tarik 5 % Vf alumina adalah 121,38, kg/mm<sup>2</sup>, 10 % Vf alumina adalah 35 kg/mm<sup>2</sup> dan 15 % Vf alumina adalah 10 kg/mm<sup>2</sup>.

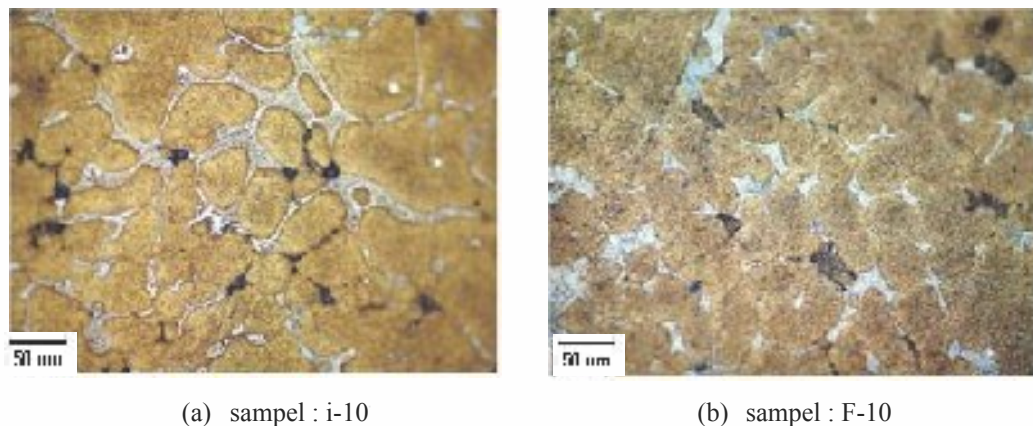


Gambar 4.21 Grafik hasil uji tarik hasil *thixoforming* pada berbagai fraksi volume alumina.

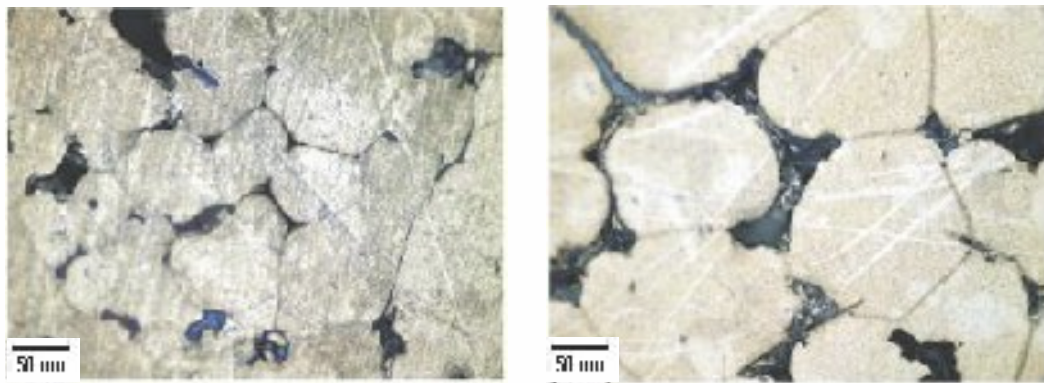
Perubahan struktur mikro terjadi akibat proses dan perlakuan panas yang diberikan pada sampel. Perubahan struktur ini juga mempengaruhi sifat mekanis material. Berikut ini akan dipaparkan gambar perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada setiap tahapan proses mulai dari ingot komposit, *thixoforming* dan *aging* pada temperatur 16 dan 28 jam.



Gambar 4.22 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit, (b) *thixoforming*, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



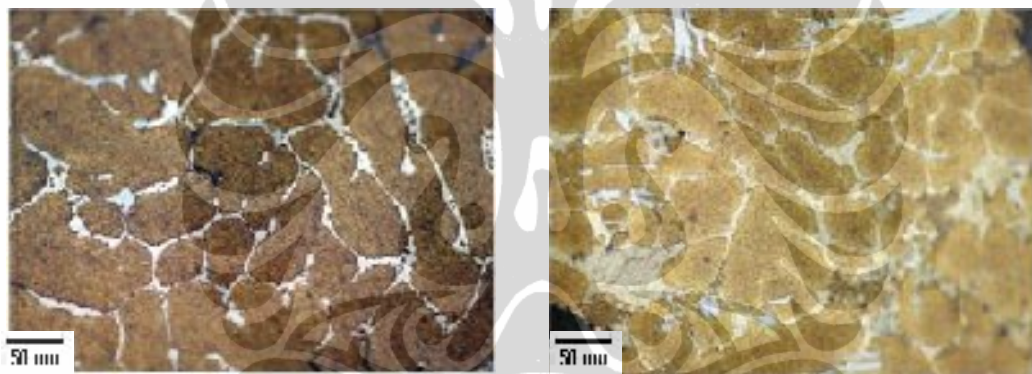




(c) sampel :F-10/16

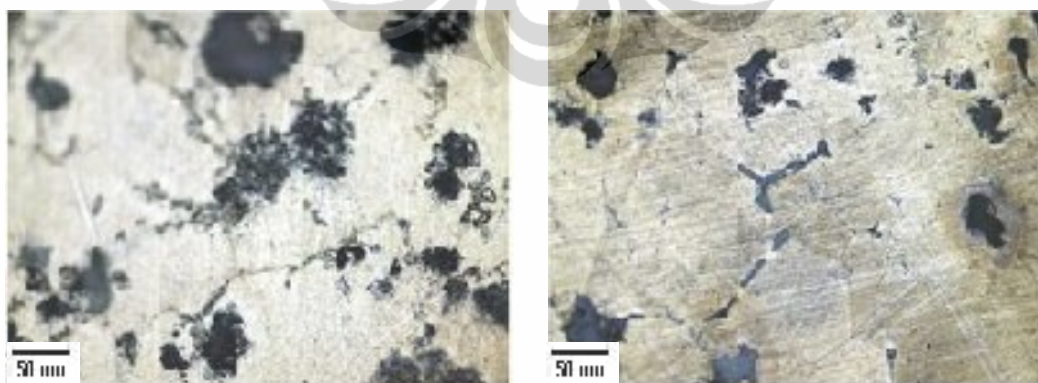
(d) sampel : F-10/28

Gambar 4.23 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 10 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



(a) sampel : i-15

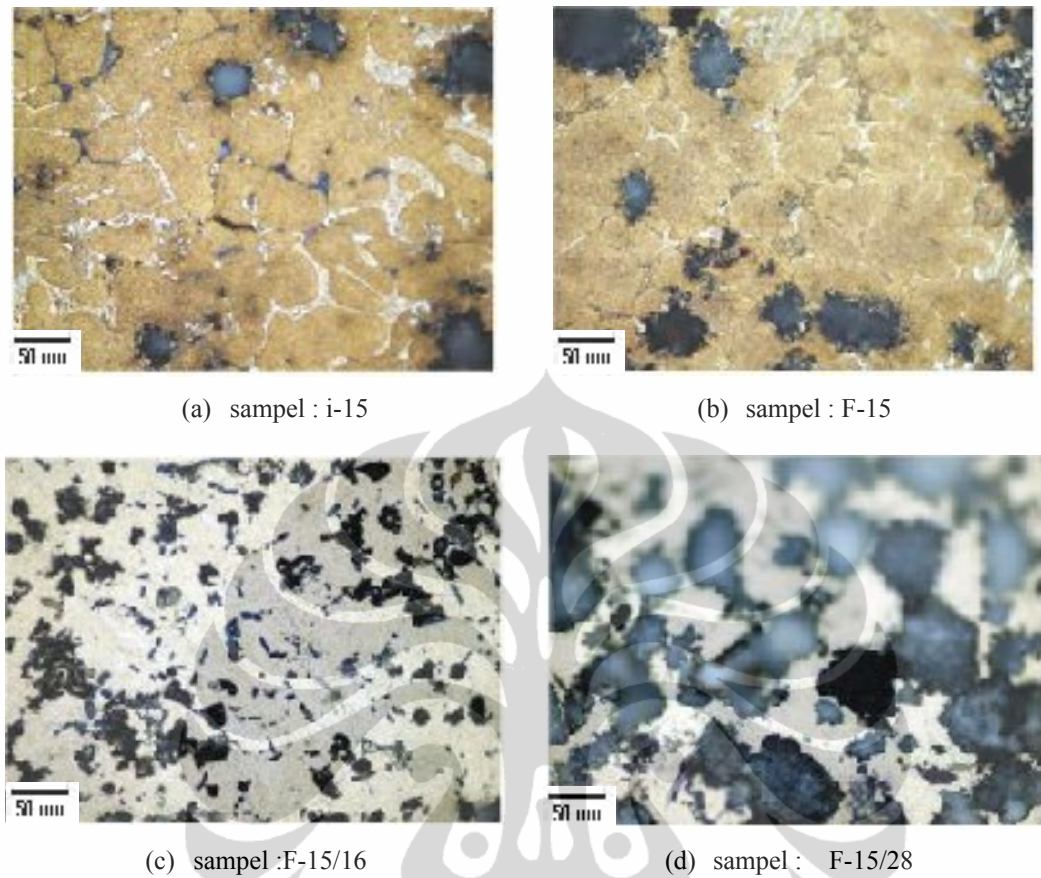
(b) sampel : F-15



(c) sampel :F-15/16

(d) sampel : F-15/28

Gambar 4.24 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 15 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



Gambar 4.25 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 20 %  $Al_2O_3$  ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam

Berdasarkan gambar 4.38 – 4.41 terlihat bahwa struktur hasil *thixoforming* lebih kecil dibanding ingot komposit. Pengecilan ukuran butir ini diakibatkan oleh besarnya gaya tekan yang diberikan pada saat proses *thixoforming*. Perlakuan panas berupa *solution treatment* pada temperatur 540 °C selama 4 jam kemudian di *quenching* dan *aging* pada temperatur 200 ° selama 16 dan 28 jam terlihat telah merubah struktur mikro komposit. Pembesaran butir dan meleburnya beberapa batas butir menunjukkan bahwa telah terjadi *over heating* saat *solution treatment*. Namun komposit pada fraksi volume 5 dan 10 % alumina terlihat masih dapat mempertahankan bentuknya dalam bentuk globular.